

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ERDEMİR SİNER ÜNİTESİ SİKLON TASARIMI
OPTİMİZASYONU**

Çevre Mühendisi Şengül COŞAR

**FBE Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ferruh Ertürk

İSTANBUL, 2007

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ERDEMİR SİNER ÜNİTESİ SİKLON TASARIMI
OPTİMİZASYONU**

Çevre Mühendisi Şengül COŞAR

**FBE Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 15 Haziran 2007
Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ferruh ERTÜRK (Y.T.Ü.)
Jüri Üyeleri : Prof.Dr.İsmail YÜKSEK (Y.T.Ü.)
Doç.Dr. Kadir ALP (İ.T.Ü.)

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	Error! Bookmark not defined.
2. DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜ VE SİNER PROSESİ HAKKINDA GENEL BİLGİ	6
2.1 Ereğli Demir Çelik Fabrikaları' nın Kuruluşu	7
2.2 Sinter Prosesi	8
2.2.1 Sinter	8
2.3 Erdemir Sinter Fabrikası	10
2.3.1 Hammadde Siloları ve Sinter Hammadde Karışımı	11
2.3.2 Ana Fan, Roll Feeder (Döner Besleyici), Sinter Makinası, Breaker (Kırıcı).....	13
2.3.3 Makine Çıkış Besleyicisi, Büyük ve Küçük Pan Konveyörü, Sıcak Elek.....	13
2.3.3 Dairesel Soğutucu, SP ve SF Bantları, Soğuk Elek, Toz Eleği, HL Besleyicisi Bantları ve Hopperi	17
3. TOZ KONTROL SİSTEMLERİ	20
3.1 Partikül Tutma Mekanizmaları.....	20
3.2 Siklonlar	24
3.2.1 Siklonların Tutulması ve Çalışma Prensipleri.....	24
3.2.2 Sistem Performansının Modellenmesi	26
3.2.2.1 Basit Model (Piston Akım)	26
3.2.2.2 Radyal Karışım (Dikey Karışimli Piston Akım Modeli)	29
3.2.3 Geri Taşınma (Saltation)	34
3.2.4 Basınç Kaybı	35
3.2.5 Tasarım Yöntemleri.....	36
3.2.6 Siklonlarda Toplam Verim.....	39
3.2.6.1 Partikül Dağılımları	39
3.2.6.2 Tane Dağılımları, Frekans ve Kümülatif Dağılım.....	41
3.3 Filtrasyon	43
3.3.1 Torbalı Filtreler	43
3.3.2 Kumaş Seçimi.....	44
3.3.3 Torbalı Filtrelerin Temizlenmesi.....	45

4.	ERDEMİR FABRİKASI SİNER ÜNİTESİ GAZ TEMİZLEME VE TOZ TOPLAMA TESİSİ	48
4.1	Tesisin Teknik Özellikleri.....	52
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	53
5.1	Siner Ünitesi Siklon Tasarımı	56
5.1.1	Tesis İşletme Değerleri Kullanılarak Yapılan Verim Hesaplamaları (Q Değişken)	56
5.1.2	Tesis İşletme Değerleri Kullanılarak Farklı Çap ve Debi Değerleri için Yapılan Hesaplamalar (D ve Q Değişken)	61
5.1.3	Siner Tozu Elek Analizi Sonucuna Göre Farklı Çap ve Farklı Debi Değerleri için Yapılan Hesaplamalar	61
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	65
	KAYNAKLAR.....	69
	EKLER.....	
Ek 1	Siner Ünitesi'nin Elek Analizi Sonucuna Göre Boyutlandırılması için Yapılan Hesapların Ayrıntıları	72
	ÖZGEÇMİŞ.....	90

SİMGE LİSTESİ

a	Siklon girişi yüksekliği
A	Alan
b	Siklon girişi genişliği
B	Siklon toz çıkışının çapı
c	Partikül hacminin gaz hacmine oranı
$^{\circ}\text{C}$	(Celcius) Santigrat derece
C_1	Siklon girişi toz konsantrasyonu
C_2	Siklon çıkışı toz konsantrasyonu
C_D	Sürüklenme katsayısı
dn	Siklonunda tutulan partikül sayısı
dp	Partikül çapı
d_{pa}	a noktasındaki partikül ebatları
d_{pb}	b noktasındaki partikül ebatları
D	Siklon çapı
D_e	Vorteks finder çapı (Gaz çıkışı)
f_i	i aralığındaki frekans değerleri
F_D	Dairesel yönde etki eden kuvvet
F_j	j. inci en büyük ebattan daha küçük partiküllerin fraksiyonu
g	Yerçekimi ivmesi
h	Siklon silindirik kısmının yüksekliği
H	Siklonun toplam yüksekliği
$^{\circ}\text{K}$	Kelvin derece
K	Verim parametresi
K_a	Giriş yüksekliğinin siklon çapına oranı
K_b	Giriş bölümü genişliğinin siklon çapına oranı
K_e	Çıkış borusu çapının siklon çapına oranı
L	Vorteks uzunluğu
	Gazın vorteksin konik kısmının altına gelmeden önce dönüş yaptığı mesafe
m_p	Partikül kütlesi
n	Toplam partikül sayısı
n_i	i. inci arada bulunan partiküller
N_e	Partikülün siklon içindeki dönüş sayısı (Devir sayısı)
N_H	Basınç kaybı parametresi
Q	Debi
R	Siklon çapı
R_i	Partikülün siklona giriş yarıçapı
R_0	Siklon yarıçapı
R^*	dp Ebatındaki partiküllerin N_e devir esnasında siklon duvarına çarpıp tutulduğu (kritik) minimum yörünge çapı
S	Vorteks finder yüksekliği (gaz çıkışı)
	Alan
t	Zaman
$t_{max.}$	Gazın vorteksin ucuna gelene kadar geçirdiği maksimum süre
t_r	Gaz akımının siklon içinde (ortalama) toplam kalma süresi
T	Sıcaklık
u_T	Partikülün u hızının dairesel yöndeki bileşeni
u_R	Partikülün u hızının radyal bileşeni
u_S	Partikülün u hızının dikey bileşeni

u_s	Optimum giriş hızı
V	Hacim
	Hız
V_g	Gazın vortekse giriş hızı
V_n	Radyal hız
V_{nL}	Vorteksin dönüş yaptığı doğal uzunluğa kadar siklonun alt kısmındaki efektif hacim
V_T	Gazın vortekse giriş hızının tanjant bileşeni
W_1	Siklon girişi toz miktarı
W_2	Siklon çıkışı toz miktarı
τ	Partikülün ilk hızının azalması için gerekli zaman
ρ_p	Partikül (toz) yoğunluğu
μ	Viskozite
$\eta_i (\eta_d)$	Kısmi verim
η_T	Siklonun toplam tutma verimi
ΔP	Basınç kaybı
Δt	Partikülün dış vortekste geçirdiği süre
μm	Mikrometre
$\emptyset$	Çap

KISALTMA LİSTESİ

EPA	Enviromental Protection Agency
HL	Hearth Layer
MMO	Makine Mühendisleri Odası
NMD	Number Median Diameter
PCDDs	Poliklordibenzo-p- dioksinler
PCDFs	Poliklordibenzofuranlar
PCB	Poliklorbifenil
PM	Partikül Madde
SM	Sinter Mix
VOC	Volatile Organic Compounds

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Sinter ünitesi akım şeması.....	15
Şekil 3.1.a	Partikül tutma mekanizmaları.....	21
Şekil 3.1.b	Partikül tutma mekanizmaları.....	21
Şekil 3.2	Tipik siklon boyutları.....	24
Şekil 3.3	Siklon içindeki gazın ve tozun hareketleri.....	26
Şekil 3.4	Radyal karışımlı piston akım modelinde gaz hareketi	29
Şekil 3.5	Dönen bir gaz içinde partikül yörüngesi.....	30
Şekil 3.6	Log-probabilite grafiğinde partikül dağılımı.....	40
Şekil 3.7	Torbalı filtre.....	44
Şekil 3.8	Mekanik titreşimle temizleme metodu.....	46
Şekil 3.9	Ters hava akımı ile temizleme metodu.....	47
Şekil 3.10	Jet hava akımı ile temizleme metodu.....	47
Şekil 4.1	Sinter ünitesi gaz temizleme ve toz geri kazanma tesisi akım şeması.....	50
Şekil 4.2	Sinter ünitesi siklonları.....	50
Şekil 4.3	Siklon sistemine bağlı çıkış bacası.....	51
Şekil 4.4	Siklon sistemi giriş hattı.....	51
Şekil 5.1	Toz ölçümlerinde kullanılmış olan cihaz ve ekipman.....	54
Şekil 6.1	$Q=Q/2$ Durumunda verim-çap ilişkisi.....	67
Şekil 6.2	$Q=Q/3$ Durumunda verim-çap ilişkisi.....	67
Şekil 6.3	$Q=Q/4$ Durumunda verim-çap ilişkisi.....	68
Şekil 6.4	$Q=Q/6$ Durumunda verim-çap ilişkisi.....	68

ÇİZELGE LİSTESİ

Tablo 2.1	Dünyada en çok sıvı çelik üreten ülkeler ($\times 10^6$ ton).....	6
Tablo 2.2	Demir çelik tesislerinin kapasiteleri.....	7
Tablo 2.3	Türkiye’ de sıvı çelik üretim değerleri ($\times 10^3$ ton).....	7
Tablo 2.4	Hammadde konveyörlerinin özellikleri.....	13
Tablo 2.5	Sinter makinesi özellikleri.....	14
Tablo 2.6	Ateşleme fırını temel özellikleri.....	14
Tablo 3.1	Çeşitli kontrol cihazlarında tutma yüzeyleri.....	22
Tablo 3.2	Siklon tasarım parametreleri.....	37
Tablo 3.3	Siklondaki fiziksel değişimlerin performans etkileri	39
Tablo 3.4	Çeşitli malzemeler ve uygulama alanları için filtrasyon hızları (H/K) ve rezistans parametresi (R_p).....	44
Tablo 3.5.a	Fiziksel Özellikler.....	45
Tablo 3.5.b	Kimyasal Özellikler.....	45
Tablo 3.6	Filtre tipleri ve özellikleri.....	45
Tablo 3.7	Torbalı filtrelerin temizleme sistemi seçimi.....	46
Tablo 4.1	Sinter tarafı toz toplama bölümü.....	48
Tablo 4.2	Cevher tarafı toz toplama bölümü.....	49
Tablo 5.1	Siklon girişi toz ölçüm parametreleri.....	55
Tablo 5.2	Siklon çıkışı toz ölçüm parametreleri.....	55
Tablo 5.3	Erdemir sinter ünitesi siklon tasarımında kullanılan boyutlar (tesisten alınan boyut dağılım değerleri).....	56
Tablo 5.4	$Q=Q$ Durumu için hesaplanan değerler.....	59
Tablo 5.5	$Q=Q/2$ Durumu için hesaplanan değerler.....	60
Tablo 5.6	$Q=Q/3$ Durumu için hesaplanan değerler.....	60
Tablo 5.7	$Q=Q/4$ Durumu için hesaplanan değerler.....	60
Tablo 5.8	$Q=Q/6$ Durumu için hesaplanan değerler.....	60
Tablo 5.9	Tesis değerleri kullanılarak farklı çap ve debiler için hesaplanan basınç kayıpları ve toz tutma verimleri.....	61
Tablo 5.10	Sinter ünitesi siklon altı tozu elek analizi değerleri..	62
Tablo 5.11	$D_{opt.} = 2.9$ m ve $Q=Q/4$ durumu için verim hesabı.....	63
Tablo 5.12	$D_{opt.} = 2.9$ m ve $Q=Q/6$ durumu için verim hesabı	63
Tablo 5.13	Elek analizi sonuçları kullanılarak farklı çap ve debiler için hesaplanan basınç kayıpları ve toz tutma verimleri.....	64
Tablo 6.1	Tesisten alınan verilere ve elek analizi sonucuna dayanarak yapılan verim hesaplamalarına ait değerler.....	65

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda bana her türlü konuda yardımcı olarak, benden bilgi ve desteğini esirgemeyen, örnek bir şahsiyet olduğunu düşündüğüm çok değerli hocam Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK'e , tesis içinde yaptığım çalışmalarda bir çok imkanı sunan ve her konuda yardımcı olan Yardımcı İşletmeler ve Bakım Baş Müdürü Sayın Mehmet Yanmaz Bey'e, toz ölçümlerinde birlikte çalıştığım Mühendis Osman Köseoğlu' na ve ekibine, Sinter Ünitesi çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Ve her zaman yanımda olan ve bana güvenen aileme sonsuz teşekkürler.

ÖZET

Toz tutma sistemlerinden siklonlar, partiküllerin ön arıtımı amacı ile kullanılırlar ve özellikle iri boyuttaki (> 10 mikrometre) tozların (% 85-90) gibi verimlerle tutulmasında etkilidirler. Doğru şekilde tasarlandıklarında, yüksek verimle toz giderimi mümkün olmaktadır. Siklonların dizaynında farklı bir çok parametre etkilidir fakat en önemlisi optimum siklon çapının belirlenmesidir. Optimum siklon çapının tespitinden sonra diğer dizayn parametrelerini bulmak mümkündür.

Bu çalışmada, ERDEMİR Demir ve Çelik Fabrikası' nın Sinter Ünitesi için optimum siklon dizaynının bulunmasına çalışılmıştır. Sinter Ünitesi' nde hammadde olarak küçük boyutlarda ve tozlu malzemeler kullanılması yüksek miktarlarda toz emisyonuna neden olmaktadır. Yüksek partikül emisyonları, sistemde yüksek verimle çalışan toz toplama sistemini gerekli kılar.

Sinter Ünitesi' nde toz toplama sistemi olarak, elektrostatik ayırıcılar, torbalı filtreler ve siklonlar gibi farklı sistemler kullanılmaktadır. Burada siklon sistemi ile çalışmaya karar verilerek, siklonların boyutlandırılması ve işletme verimleriyle ilgili hesaplar yapılmıştır. Ünite, şu anda % 85.8 işletme verimiyle çalışan, 2.972 m çapında 6 adet siklon kullanılmaktadır. Siklonlardan sonra torbalı filtreler vardır ve torbalı filtrelerden çıkan gaz sinter bacasına, toz ise sinter prosesine gider. Tutulan tozun bir takım kıymetli metaller içermesinden dolayı, sinter de hammadde olarak kullanılmaktadır.

Sinter Ünitesi için en uygun siklon dizaynının bulunabilmesi amacı ile siklonların giriş ve çıkış noktalarında ölçümler yapılmıştır. Yapılan hesaplara dayanarak ve verim ve maliyet unsurları da dikkate alınıp, optimum siklon çapı belirlenmiştir. Alternatif olarak farklı siklon çapları denenmiş ve en az maliyetle en yüksek işletme verimini sağlayan sistemin seçilmesi amaçlanmıştır.

Sinter Ünitesi siklon dizaynlarında, genel olarak % 95' in üzerinde verimler hesaplanmıştır. Fakat ünite için önemli olan az sayıdaki siklonla yüksek verim sağlanmasıdır. Bu nedenle 3 m çapında 4 adet veya 4 m çapında 2 adet siklonun Sinter Ünitesi için uygundur.

Bu çalışmada, siklon sistemi tasarımında öncelikle siklon çapının hesaplanması gerektiği vurgulanmıştır. Siklon çapının hesaplanması, daha az maliyetle yüksek verimle çalışan siklon sisteminin bulunmasını sağlar.

ABSTRACT

Cyclones which are used as pretreatment of particulates (dust), they have high efficiencies (85-90 %) especially for coarse particles (> 10 micrometers). High dust cleaning is possible if they designed correctly. Various parameters affect cyclone design but most important one is determining the optimum cyclone diameter. Other design parameters can be found after determination of the cyclone diameter.

In this study; we tried to find out optimum cyclone design of Sinter Unit of ERDEMİR Iron Steel Factory. In Sinter Unit, using very small size and dusty materials as a raw material causes very high dust emission. Because of the high rate of particulates emissions, unit requires high efficiently working dust collecting system.

Different types of dust collecting systems are used in Sinter Unit such as electrostatic precipitators, bag filters and cyclones. It is decided to work with cyclone system and made calculations on cyclone dimensions and its operation efficiency. Now in unit, totally 6 and 2.972 diameter cyclones are used and these have 85.8 % operation efficiency. Bag filters take place after cyclone system and from bag filter exit, clean gas goes to sinter chimney and dust goes to sinter process. Dust involves some kind of metals and used as raw material in sinter unit.

Measurements were made in Sinter Unit cyclones' inlet and outlet points for reaching the most suitable cyclone design. According to these measurements, optimum cyclone diameter was determined with regard to cost and efficiency. In the calculations, different cyclone diameters were examined as an alternative choice and with little cost but highest operation rate providing system is tried to be selected.

Generally over 95 % efficiency was calculated in sinter unit cyclone design. But for the unit providing high efficiency with minimum number of the cyclone is important. Therefore 3 m diameter 4 cyclone or 4 m diameter 2 cyclone will be suitable for the sinter unit.

With this work, it is pointed out that for designing a cyclone system, firstly optimum cyclone diameter must be calculated. Calculating cyclone diameter provides finding high efficient working cyclone system with little cost.

1. GİRİŞ

Dünya’da endüstri devrimi ile başlayan hava kirliliği problemi, gün geçtikçe artan sanayileşme hareketleri ve kontrolsüz enerji kullanımı nedeniyle insanlar ve çevre için ciddi bir tehdit haline gelmiştir. Fakat uzun yıllar, bu konudaki bilincin tam oluşmaması ve hava kirliliğinin çevre ve insan üzerinde genelde akut (kümülatif) etkiye sahip olması konuya gerekli hassasiyetin gösterilmemesine neden olmuştur. Ayrıca hava kirliliği ile ilgili olarak alınması gerekli tedbirler maddi bir yük olarak görüldüğünden, hava kirliliği kontrolü için yapılması gerekli pek çok şey ihmal edilmiştir. Ancak zaman içinde, kontrolsüz sanayi ve endüstri faaliyetlerinin zararlı etkileri insan ve çevre üzerinde yerel ve küresel boyutta görülmüş ve bu nedenle 1970’ li yıllardan itibaren bir çok ülke ve kuruluş bu konuda önlemler almaya ve yaptırımlar uygulamaya başlamıştır.

Hava kirlenmesine neden olan kaynakları, doğal ve yapay kaynaklar olarak ikiye ayırmak mümkündür. Doğal kaynaklar; volkanik ve yanardağ faaliyetleri, orman yangınları ve bitki örtülerinin bozulması sonucu oluşan kirleticilerdir. Yapay yani insanların neden olduğu kirleticiler ise; sanayi faaliyetleri, motorlu araçların ve fosil yakıtların kullanımı olarak sayılabilir.

Hava kirliliğinin en önemli kaynağı “yanma” olayıdır. Yanma sonucu ortaya çıkan belli başlı kirleticiler; CO, CO₂, SO₂, uçucu organik bileşikler (VOC), partiküler madde (PM) ve azot oksitler (NO_x) gibi kirleticilerdir (Wark vd., 1998).

Ülkemizde de teknolojik gelişmelere paralel olarak hava kalitesinin gittikçe bozulduğu bilinen bir gerçektir. Bozulan çevreyi onarmak yerine, ekolojik dengelerin bozulmasına neden olabilecek unsurları ortadan kaldırmak ilkesinden hareketle, sanayi kuruluşlarında çevreye minimum seviyede zarar veren teknolojilerin tercih edilmesi, atıkların sanayi kuruluşunun kendi üretim prosesleri yada diğer sanayi kuruluşlarında hammadde girdisi olarak kullanılması atıkların yaratacağı olumsuz etkileri büyük oranda önleyecektir. Sağlıklı bir çevrede yaşayabilmek için temiz bir hava şarttır. Endüstriyel kaynaklı kirleticilerin insanlarda pek çok ciddi hastalığa neden olduğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle kurumlar, prosesleri sonucu ortaya çıkan ve hava kalitesini bozan bu kirleticileri yasalar ve yönetmelikler gereği uygun sınırlara indirmekle yükümlüdürler.

Atmosfer kirlenmesi büyük şehirlerde, endüstriyel bölgelerde ve özellikle şehir ve endüstrinin plansız bir şekilde birbirine girdiği kırsal yerlerde önemli bir problem teşkil eder.

Bir çok durumda atmosfere karışan yabancı maddelerden çok bunların atmosferde uğradıkları kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan bileşikler daha zararlı olmaktadır. Örneğin, atmosfere karışan SO_2 önce atmosfer oksijeninin ve ultraviyole ışınların etkisi altında kükürt triokside dönüşmekte ve bu da atmosferdeki su buharı ile birleşerek sülfat asidini meydana getirmektedir. Sinterde eklenen kokun, demir cevherinin yada kükürt içeren yakıtların kullanılmasından dolayı SO_2 gazı oluşmaktadır. Kok içindeki kükürt oranı % 0.6 ile % 1.8 arasında değişmektedir. Sistemde yakıt olarak doğal gazın kullanılması ve dekükürdizasyon (kükürt giderimi) işleminden geçirilmiş kokun kullanılması oluşan SO_2 emisyonunun azaltılmasında etkili olacaktır.

Kirletici maddelerin kaynakları çok farklı nitelik ve çeşitteki sektörler olabilir. Örneğin çimento sanayii, termik santraller, petrol rafinerileri, kağıt ve kağıt hamuru sanayii ve demir ve demir dışı izabe tesisleridir. Alüminyum endüstrisinin, seramik ve tuğla fabrikalarının ve demir çelik fabrikalarının atmosfere kattığı zararlı yabancı maddeler arasında en önemlileri hidrojen florür ve florür bileşikleridir. Bu gibi bileşikler özellikle yem bitkilerinin yapraklarında toplanırlar ve hayvanlar ve insanlara kadar aktarırlar (M.M.O., 1969).

Demir ve çelik fabrikalarında, pirit kavurma (sinter), yüksek fırındaki reaksiyonlar, kok hazırlama işlemi ve çelik üretimi işlemleri belli başlı SO_2 emisyon kaynaklarıdır. Özellikle cevherden demir zenginleştirip üretim yapan sinter tesislerinde SO_2 kirlenmesinin en önemli problem olduğu söylenebilir (Müezzinoğlu, 1987).

Demir ve çelik fabrikalarında, sinter bandı üzerinde gerçekleşen reaksiyonların hepsi bilinmemekle birlikte fosil yakıt kullanımından ve karbonatlı flaksların (bağlayıcıların) kalsinasyonundan dolayı CO_2 emisyonu oluşmaktadır. Bunların dışında yüksek fırında flaks olarak kullanılan CaCO_3 ve MgCO_3 ' lardan ve çelik üretimi sırasında az miktar da CO_2 emisyonu oluşur. Bunlardan başka toz, manganez, kurşun veya krom gibi metallerin de farklı formlarının demir-çelik sektöründen hava ve suya karışan kirleticiler olduğu bilinmektedir (Climate Leaders GHG Inventory Protocol, 2003). Ayrıca katı yakıt olarak fosil yakıtların kullanılmasından dolayı CO_2 ve kokun tam olarak yanmaması sonucu CO gazı oluşur. Emisyonu; atık gazın geri devir edilerek sinter yatağına verilmesiyle azaltılabilir.

Sinter bandı üzerinde yaklaşık 1450-1500 °C gibi bir sıcaklık vardır. Bu sıcaklıklarda ZnCl_2 , alkali tuzlar ve hidrokarbonlar gibi bazı organik maddeler buharlaşabilmektedirler. Bazı proseslerde alkali giderimini sağlayabilmek için sinter karışımına CaCl_2 eklenmektedir (Calvert ve Englund, 1984).

Bant üzerindeki yanma reaksiyonları sonucu oluşan kirletici maddelere ilave olarak siyanürler, yağ ve gres gibi maddeler de sayılabilir (E.P.A, 1985).

Demir ve çelik endüstrisinden kaynaklanan kirleticiler arasında dioksin (PCDDs/Poliklor dibenzo-p-dioksinler) ve furanlar da (PCDFs/Poliklordibenzofuranlar) vardır. Dioksin ve furanlar demir çelik sektörünün yüksek sıcaklık gerektiren yanma olaylarının gerçekleştiği proseslerinden oluşmaktadır (Clement ve Kagel, 1990).

Demir çelik ve hurda metal işleyen tesislerde baca gazları yeterli oranda arıtılmalıdır. Bu tür tesislerde kullanılan hammaddelerde ve hurdalarda bulunan bazı zehirli ve zararlı maddeler gaz fazına geçerek çevre kirliliğine neden olurlar. Gerekli arıtması olmayan bu tür tesisler, ağır metal ve PCB (poliklorbifenil)' ler bakımından ciddi çevre kirliliği oluştururlar. Hurda kullanan tesislerin çevresindeki havada ve toprakta da özellikle ağır metal analizleri ve PCB analizleri yapılmalıdır (Öztürk, 2007).

Demir çelik endüstrisinde ayrıca; cevherin hazırlanması sırasında, kok üretiminde, sinter ünitesinde cevherle kokun karıştırılıp yanması sırasında SO_2 , NO_x , klor ve flor bileşikleri ile toz oluşmaktadır (Velzen, 1990).

Erdemir Sinter Ünitesi' nden çıkan gazın içinde ise değişen oranlarda, Fe_2O_3 , CaO, K_2O , SiO_2 , Na_2O , kireç taşı, kok, dolomit bulunmaktadır. Kullanılan malzemelerin içeriğine bağlı olarak gazın bileşimi de değişkenlik göstermektedir.

Kullanılacak hava kirliliği kontrol sisteminin seçiminde işletme ve inşaat maliyetleri, ekipman, elektrik, arazi ve mühendislik masrafları da önemli faktörler olduğundan, giderilmesi istenilen kirletici maddenin bir tonunun en ucuz hangi sistemle giderilebileceği tespit edilmelidir.

Fabrikalarda emisyon kontrolünün sağlanması için farklı toz ve gaz tutma sistemleri kullanılabilir. Bunlar siklonlar, elektrostatik ve torbalı filtreler, ıslak arıticılar, dekükürdizasyon, de- NO_x (azot giderimi) ve buna benzer sistemlerdir.

Bu sistemlerden biri olan siklonlar; kendilerinden sonra gelen ve daha küçük boyuttaki tozları tutabilen, toz tutma sistemlerinin yükünü azaltmak ve toz tutma verimini arttırmak amacı ile kullanılan ekipmanlardır. Tek başlarına yeterli toz tutma verimini sağlayamadıklarından, genellikle bir ön arıticı olarak tercih edilirler. Yüksek sıcaklıklardaki gazları tölere edebilmeleri ise diğer bir avantajlarıdır (Heinsohn ve Kabel, 1999).

Siklonlar, endüstrilerde toz tutma amacı ile kullanılan en eski separatörlerdir. Tozun korozyon etkisine ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmaları ve çok fazla alan ihtiyaçları

olmaması nedeniyle çoğunlukla torbalı filtrelerden önce kullanılırlar. Bu sayede torbalı filtre sistemi korunmuş olur. Değişken üretim koşullarında optimum tutma verimi sağlamaları, düşük ekipman ve işletme maliyeti gerektirmeleri, bakımlarının ucuz ve kolay olması, tutuşabilen yada patlayıcı nitelikteki tozları güvenli bir şekilde tutup ayırabilmeleri siklonları bir çok açıdan cazip hale getirmektedir (Bretschneider ve Kurfürst, 1987).

Siklonlar, işletilmesi kolay, sıcak gazlardan etkilenmeyen, iyi tasarımılandıklarında basınç kayıpları düşük cihazlar olmakla birlikte, çok küçük (<5 mikron) boyutlardaki tozların gideriminde genelde yeterli verimi sağlayamazlar. Çoğunlukla gaz temizleme işlemlerinde, partiküler madde (toz) emisyonlarının yoğun olduğu çimento tesisleri, demir-çelik fabrikaları, hububat siloları, gübre fabrikaları, asfalt şantiyeleri, kireç ve taş ocakları gibi tesislerde ön arıtım için kullanılırlar.

Siklonların toz tutma verimleri partikül çapının artması ile artar. Bir partikülün tutma verimi Lapple' ın (1951) yarı amprik formülü ile hesaplanabilir. Toplam toz tutma veriminin bulunabilmesi için toz partiküllerinin boyut dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Her bir boyut dağılımına ait kısmi verim hesaplanarak, siklon için toplam toz tutma verimi hesaplanır (Lapple, 1951).

Bu çalışmada, Erdemir Fabrikası Sinter Ünitesi' nin toz tutma sistemlerinden biri olan siklonların optimizasyonu yapılmıştır. Sinter Ünitesi, proses gereği fabrikanın en fazla toz oluşturan ünitelerinden biridir. Bu nedenle birkaç farklı toz tutma sistemi bir arada kullanılarak toz çıkış konsantrasyonun yönetmeliğe uygun olması sağlanmaktadır. İri taneli partiküller siklonlarda, ince taneli olanlar ise torbalı ve elektrostatik filtrelerde tutulmaktadır. Tozundan arındırılmış gaz atmosfere verilirken, tozlar; demir ve sistemde kullanılan bir takım maddeleri içermesi nedeni ile tekrar sisteme alınarak değerlendirilmektedir. Siklonlar, sinter ünitesinden çıkan tozlar için bir ön arıtma vazifesi yapmaktadır. Siklonların istenilen verimle çalışabilmesi için doğru şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu amaçla, Sinter Ünitesi' nde kullanılan siklonların giriş ve çıkış noktalarında toz konsantrasyonu ölçümleri yapılmış ve elek analizi sonuçlarına göre optimum tasarım için her bir partikül aralığı (grade)' na tekabül eden tutma verimini (η_i) ifade eden bir model kullanılmıştır. Yapılan hesaplarda sistemin toplam toz tutma verimi bulunarak, bu değerler ölçümlerden elde edilen değerlerle mukayese edilmiştir. Ölçüm sonuçları ve hesaplamalar, Sinter Ünitesi' nde kullanılabilecek birden fazla paralel siklon sistemi olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada amacımız; optimum çapta siklon kullanıldığında daha yüksek toz tutma veriminin sağlanacağını ve siklon tasarımında en önemli unsurun optimum çapın belirlenmesi

olduğunu göstermektedir. Sinter Ünitesi için yaptığımız hesaplardan bir çok farklı çap ve sayıda siklonun sistemde yüksek verimler sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Fakat bunlardan; $Q=Q/4$ (4 adet paralel siklon) için $D=3$ m çapının ve $Q=Q/2$ (2 adet paralel siklon) için $D=4$ m çapının kullanımının daha uygun olacağı sonucu çıkarılmıştır. Önerilen bu çap ve debi değerlerinde siklonlar yüksek verim sağlamıştır. Ancak bu sistemlere alternatif olabilecek başka siklon dizaynları da vardır ve bunlar için de toz tutma verimi hesabı yapılmıştır. Kullanılacak siklon sisteminin seçilmesinde; kuruluş ve işletme maliyeti, arazi koşulları, mühendislik ve yardımcı ekipmanların masrafları gibi unsurlar da dikkate alınarak tesis için optimum siklon sistemi bulunmuştur.

2. DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜ VE SİNER PROSESİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

Demir çelik endüstrisi; geçmişten günümüze kadar sürekli olarak gelişmiş ve ürettiği yarı ve son ürünler bir çok sanayi dalının vazgeçilmezi haline gelmiştir. Ülkelerin gelişmişliğinin kişi başına düşen çelik miktarıyla değerlendirilmeye başlanması buna karşılık hammadde kaynaklarının da giderek azalması bu sektördeki rekabeti ve bu sektörün önemini arttırmaktadır.

Dünya Çelik Üretimi

Dünyada çelik üretiminde önde gelen ülkeler ve üretim rakamları Tablo 2.1’ de verilmektedir (<http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/metalmad/oik635.pdf>).

Tablo 2.1 Dünyada en çok sıvı çelik üreten ülkeler (x 10⁶ ton)

ÜLKELER	1995	1996	1997	1998
ÇİN HALK CUM.	95.3	101.2	107.5	114.0
JAPONYA	101.7	98.8	104.5	93.5
ABD	95.2	94.6	96.7	97.4
RUSYA	51.6	49.2	46.9	41.7

Türkiye Demir Çelik Tesisleri

Ülkemizde sıvı çelik, entegre tesislerde ve ark ocaklarında üretilmektedir. Türkiye’ de üretilen demir cevheri; Karabük, İskenderun ve Ereğli’ de kurulmuş üç entegre demir çelik tesisinde kullanılmaktadır. Ülkemizde sıvı çelik üretimi bu tesislerde ve ark ocaklarında yapılmaktadır. Entegre tesisler demir cevheri, ark ocakları da ithal hurda demir kullanmaktadırlar. Ülkenin toplam 19.8 milyon ton sıvı çelik üretim kapasitesinin % 71.3’ ü ark ocaklarına aittir. Ülkemizin demir-çelik tesislerinin kapasitesi Tablo 2.2’ de, sıvı çelik üretim değerleri ise Tablo 2.3’ te verilmiştir (Aydın, 2005).

Tablo 2.2 Demir çelik tesislerinin kapasiteleri

TESİSLER	1996	1997	1998	1999*
Kardemir	718	724	660	571
İsdemir	1.848	1.921	1.951	1.714
Erdemir	2.459	2.711	2.545	2.385
Ark Ocakları	8.337	8.918	8.992	8.453
TOPLAM	13.362	14.274	14.148	13.124

Tablo 2.3 Türkiye’ de sıvı çelik üretim değerleri (x 10³ ton)

Üretim tesisi	Kapasitesi (x 10³ ton)	Kapasite (%)
Kardemir	700	3.5
İsdemir	2.200	11.1
Erdemir	2.900	14.1
TOPLAM ENTEGRE TESİSLER	5.800	29.1
Ark ocakları	14.100	70.9
GENEL TOPLAM	19.900	100.0

* İlk 11 aylık üretim değerleri

2.1 Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları’ nın Kuruluşu

1950’ li yıllarda ülke çapında girişilen karayolu, sulama ve ziraati geliştirme, baraj inşaatları ile otomotiv ve beyaz eşya sanayii kurmaya yönelik çabalar paralelinde, yassı çelik ürünlerine olan ihtiyaç büyük çapta artmıştır. Bu ihtiyaç doğrultusunda başlayan çalışmaların sonunda 1959 yılı başında Sanayi Bakanlığı tarafından kurulan bir heyet ile Koppers (A.B.D.) şirketi tarafından yapılabilirlik etüdü ve tesisi kuracak şirketin statüsü üzerine çalışmalar başlatılmış ve raporlar aynı yılın ortalarında hazırlanmıştır.

Bu aşamadan sonra sürdürülen çabalarla 28.01.1960 tarihinde kabul edilen 7462 sayılı kanunla “Ereğli Demir ve Çelik T.A.Ş.” adı altında bir anonim şirket kurulması için bankalar kuruluna yetki verilmiştir. İnşaat ve montaj çalışmaları 42 aylık bir süre içinde tamamlanarak 15.05.1965 yılında tesisler devreye alınmıştır. Kuruluş kapasitesi 470.000 ton/yıl sıvı çeliktir. Fakat bu kapasite günümüze kadar devam eden talep artışına paralel olarak yeni yatırımlarla sürekli artmıştır (Özdabak, 2004).

2.2 Sinter Prosesi

Sinter fabrikasının ana fonksiyonu yüksek fırına sinter üretmek ve beslemektir. Ayrıca bu proses bir cevher hazırlama işlemidir. Nedeni de düşük tenörlü ve toz halinde olan demirli malzemeler yüksek fırın prosesinde problemler çıkaracağından, bu malzemeler şarj edilmeden önce bir zenginleştirme işleminden geçirilir buna da “Sinterleme Prosesi” denir. Bir başka tarifi ise 0-8 mm ebadındaki demir cevherleri katı bir yakıt olan kok tozu ile (0-15 mm) karıştırılarak, gerekli katık maddeleri ile harmanlanıp, yüksek fırında kullanılabilir hale getirilmesi işlemidir.

Sinterleme esas olarak, rutubetlendirilmiş demir cevheri tozları ve diğer toz haldeki malzemelerin katı yakıt (kok tozu) ile beraberce karışık olarak geçirgen bir yatak üzerine yüklendikten sonra, karışımın üst yüzeyinden sıvı veya gaz yakıtla yüksek bir sıcaklık elde edildiği ve geçirgen tabandan devamlı hava emişinin sağlandığı bir ortamda yapılır.

Sinterleme ;

- i- Kısmi ergime metodu ile ufak parçaların temas yüzeylerinden birbirine yapışmaları,
- ii- Yeniden kristalleşme ile difüzyon bağlarının oluşması ve parçaların erimeden birbirine yapışmalarını sağlayan hematit ve maganetit kristalinin büyümesi işlemidir.

Sinterleme sonucunda toz demir cevherleri ısı ve oksidasyon yoluyla termik sertleştirilmeye uğradıktan sonra kompakt bir duruma getirilmiş olurlar (Yeniçeri, 1991). Sinter kullanımı ile yüksek fırınlarda yüksek verimlilik ve düşük kok oranı ile çalışma imkanı sağlanmaktadır (Erol vd., 1991).

2.2.1 Sinter

Sinterlenecek malzemeler her biri 0-10 mm boyutlardaki toz demir cevherleri ile kükürtlü cevher, baca tozları ve bunun gibi demir içeren konsantreler ve ilave olarak kullanılan 0-3 mm boyutlarındaki kok tozu ve kireç taşı ayrı ayrı silolarda depolanır. İstenilen sinter şarj harmanı üretilecek sinterin özelliklerine ve sinterleşme işleminin prensiplerine uygun olarak rutubetlendirilmiş bir halde karıştırılarak hazırlanıp, sinter bandına şarj edilerek orada sinterlenirler (Fabrika İşletme Notları, 2004).

Sinter makinesi (bandı) ısıya dayanıklı ızgaralardan tertiplenmiş sonsuz konveyör biçiminde hareketli bir tesistir. Izgaraların üzerine sinter şarj harmanı yüklenir ve ızgaraların altından hava emişi yapılır. Hareketli ızgara üzerine ilk olarak, yatak malzemesi silosundan 15-25 mm boyutunda olan geri dönen sinter tozu ızgara üzerinde 4-6 cm yükseklikte olacak şekilde şarj edilir. Bu malzeme oldukça gözenekli olup hava giriş ve gaz çıkışını temin edip,

ayrıca esas sinterlenecek harmanında ızgaralardan aşağıya düşmesine mani olacak şekilde seçilmelidir. Uygun oranlarda karıştırılmış ve rutubetlendirilmiş sinterlenecek malzeme sinter harmanı silosundan yatak malzemesi üzerinde 10-35 cm yüksekliğe sahip olacak şekilde sinter makinesine şarj edilir. Hemen yükleyicinin önünde bulunan ilk ateşleyiciden şarjın yüzeyi ısıtılır ve yanmalar başlatılır.

Bu işlem sayesinde şarj içindeki kok tozu ve varsa kükürt yanmaya başlayarak hareket eden ızgara üzerinde hava sayesinde yanmaya devam ederler. Bu dar bölgede komşu partikül yüzeylerinin erime sıcaklığına çıkmasıyla yabancı maddeler yarı sıvı bir curuf teşkil ederler. Bağlanma olayı; yanma, tane büyümesi ve curuf sıvılaşmasıyla olur. Yakıt ve curuf yapıcılardan çıkan uçucu maddeler 800-1000 mm su sütunu bir emişle ortamdan uzaklaştırılırken yerine gelen hava ilerleyen yanma zonunun üzerinde kalan kısımları hızla soğutup katılaştırır. Kok tozunun yanması karışımın üst yüzeyinde başlar emme ve sinter karışımının geçirgenliğine de bağlı olarak, karışımın alt kısımlarına kadar sinterleşme gerçekleşir (Fabrika İşletme Notları, 2004). Daha sonra malzeme soğutucuya alınarak, ızgaralardan elenir. Elek altı malzeme sinterde hammadde olarak kullanılır. Elek üstü malzeme ise yüksek fırına gönderilir (Climate Leaders GHG Inventory Protocol, 2003).

Sinter ısısı yanma bölgelerinde 1250 °C–1450 °C aralıklarındadır, diğer bölgelerde ise kademeli olarak azalmaktadır. İlk yanmalar şarjın üst kısmından başladığından emilen sıcak gazlar şarjın alt kısımlarını ısıtarak, ısılarını bırakırlar. Sıcaklık sayesinde kükürtlü bileşikler de yanarak SO₂' ye dönüşür. Izgaraların altında bulunan gaz emiciler sayesinde yanmış gazlar bacaya gönderilirken, doğal yoldan hava emişi de meydana gelmiş olur.

Sinter karışımı; yüksek fırın baca tozu, elek altı malzemeler, kireçtaşı, dolomit gibi malzemeleri de ihtiva eder. Ortalama bir geçirgenlik sağlayabilmek için sinter karışımının ihtiva ettiği su miktarının % 5-20 arasında olması gerekmektedir. Çok yüksek su miktarı, yeniden çökme sonucu topaklanmayı artırarak boşlukların dolmasıyla geçirgenliğin düşmesine sebep olur. Uygun geçirgenlik ve ısı transferini sağlayabilmek için cevher boyutunun 5-6 mm' yi, kok ve kireçtaşı boyutunun ise 3 mm' yi geçmemesi gerekir. Sabit yakıt oranında eğer kok boyutu çok büyükse bölgesel aşırı ısınma nedeniyle çok fazla sıvı oluşumundan dolayı yüksek fırında çok zor indirgenebilen **fayalit (Fe₂SiO₄)** oluşur. Aynı zamanda diğer bölgelerde uygun olmayan ısınmadan dolayı sinter bağ mukavemeti olumsuz yönde etkilenir, kireçtaşının kalsinasyonu tamamlanmaz, bu da sinter mukavemetini ters yönde etkiler (Özdabak, 2004). Sinter malzemesi kimyasal ve fiziksel özelliklerinin ve kalitesinin düzgün olması açısından, şarjı yapılmadan önce kireçtaşı ve kok cevher ile düzgün olarak karıştırılmalıdır. Elde edilen sinterin % 65–70' inin 12 mm' lik boyutun üzerinde

olabilmesi için ortalama kok oranı % 4 ile 8 arasında değişmelidir. Eğer curufun akışkanlığı ve erime sıcaklığı yüksekse yakıt ihtiyaçı artar. Eklenen kireğtaşı miktarı istenen baziteye göre değişir. Kireğtaşının sinterleme sırasındaki kalsinasyonu yüksek fırındaki kalsinasyonuna göre daha az enerji sarfına neden olur. Kireç sinterin indirgenebilirliğini de büyük miktarda artırır.

Sinter üretiminin amaçları;

1. Toz cevherleri değerlendirmek
2. Cevher içindeki zararlı gazları yakarak yapıdan uzaklaştırmak
3. Külçe oluşturup, poroz bir yapı elde etmek
4. Yüksek fırının verimli çalışmasını sağlamak
5. Fabrikadaki demir atıklarını değerlendirmek

olarak sayılabilir (zdabak, 2004).

2.3 Erdemir Sinter Fabrikası

1972 yılında işletmeye açılan Sinter Fabrikası başlangıçta düşük baziklikte sinter üretmekteydi. Sonraları yüksek fırınların bütün bağlayıcı ihtiyaının sinterlerle karşılanması eğilimleriyle birlikte yüksek baziklikte sinter üretimine geçilmiştir. Günümüzde yüksek fırınların ihtiyaçı olan her baziklikte sinteri üretebilmektedir.

1.200.000 ton/yıl' lık üretime göre kurulmuş olan fabrika modernize edilerek yıllık 1.500.000 tonun üzerinde üretime ulaşmıştır. Her iki yüksek fırını da besleyen fabrika, makine verimi ve yakıt oranı gibi kriterler bakımından oldukça yüksek bir performansa sahip bulunmaktadır. Sinter fabrikasında ton ürün başına tüketilen enerji 1982 yılında 768 mcal. iken 1989 yılında 492 mcal. seviyesine düşürülmüş bulunmaktadır. Yüksek fırın baca tozu, elikhane curufu ve haddehane tufalı gibi artık malzemeler yüksek seviyelerde kullanılarak modern bir işletmecilik uygulanmakta ve önemli ekonomi sağlanmaktadır. Modern bir toz toplama sistemine sahip olan sinter fabrikası hava kirliliği kontrolü açısından da Avrupa Standartları seviyesinde bulunmaktadır (Erol vd., 1991).

Sinter Fabrikası' nın Teknik Özellikleri:

- 1) Nominal Kapasite: 36 ton / m³/ gün
- 2) Sinterleme Kapasitesi: 1.500.000 ton/yıl
- 3) Etkili Sinterleme Alanı : 134 m
- 4) Soğutucu Çapı: 16.76 m
- 5) Yatak Derinliği : 1.27 m
- 6) Soğutucu Kapasitesi : 350 Ton /saat
- 7) Soğutma Alanı : 153 m²
- 8) Soğutma Fan Sayısı : 3
- 9) Emme Fanı Sayısı :16.295 m³/dak.
- 10) Atık Gaz Sıcaklığı : 135 °C
- 11) Yatak Kalınlığının Mak. Yüksekliği : 470 mm
- 12) Sinter Makine Hızı : 1.6-5.0 m/dak.
- 13) Ateşleme Fırını Alanı : 18 m²
- 14) Ortalama Ateşleme Sıcaklığı : 1150 °C (Erol vd., 1991)

Sinter Fabrikası' nda alınan tasarruf önlemleri dolaylı olarak, ortaya çıkan atık gaz ve toz miktarını da azaltacaktır (Özdabak,2004). Örneğin;

- 1) Sinter harmanı hazırlanırken yapılan iyileştirmelerle tüketilen kok tozunun azaltılması,
- 2) Burnerlerde yapılan iyileştirmelerle kok gazının azaltılması.

2.3.1 Hammadde Siloları ve Sinter Hammadde Karışımı

Hammadde manipulasyon sisteminde, sinter prosesine uygun boyut ve bileşimdeki toz cevherler belirli oranlarda harmanlanarak toz cevher sahaları oluşturulur ve konveyör vasıtasıyla sinter fabrikası cevher silolarına stoklanır. Ayrıca yüksek fırınlardan çıkan elek altı sinter tozları ve sinter fabrikasında proses esnasında çıkan döküntüler de bu konveyör ile stoklanır. Dolomit, kireç taşı tozu, olivin gibi flaks (bağlayıcı) malzemeler, baca tozu, tufal, çelikhane curufu, kirket çamuru ve desiltör çamuru gibi atıklar ve 19 mm boyutu altındaki kok, konveyör vasıtasıyla silolara stoklanır. Hammaddeler için toplam 15 adet silo vardır. Ayrıca

sistemde 2 adet sinter resirkülasyon toz silosu ve 1 adet sinter stok silosu mevcuttur (Fabrika İşletme Notları, 2004).

Sinter hammadde karışımı, silolardan alınan malzemelerin belirli oranlarda karışımından elde edilir ve sinter makinesine serilmesine kadar geçen hat üzerinde aşağıdaki ekipmanlar bulunur:

- Tablalı ve bantlı besleyiciler
- Konveyörler
- Kantarlar
- Drumlar

Tablalı ve Bantlı Besleyiciler

Mamül sinterin hedeflenen fiziksel ve kimyasal özelliklerini sağlamak için gerekli oranlardaki hammaddeler, silolardan tablalı ve bantlı tip besleyicilerle SM (sinter mix/sinter karışımı) bantlarına verilmektedir.

Hammadde Konveyörleri

İlk altı silodan, tabla tipi besleyicilerle döküntü (1 no' lu silodan) ve harman tozları SM-1 bandına beslenir. SM-1 bandı 80m uzunluğunda olup kapasitesi 220 t/h' tir. Bu bant taşıdığı malzemeyi SM-2 bandına aktarır. 14 m uzunluğundaki SM-2 bandı SM-1' e dik olarak konuşlanmış olup görevi taşıdığı malzemeyi SM-1' in paralelindeki SM-3 bandına aktarmaktır. SM-3 bandına gelen malzeme SM3-1 kantarında tartılarak miktarı belirlenir. Katkı malzemeleri bu bant üzerinde beslenir (Fabrika İşletme Notları, 2004).

SM-3 bandı taşıdığı sinterlik karışımı, 2,43 m çapında 6,096 m uzunluğundaki ve 420 t/h kapasiteli 1.Drum (karıştırıcı)' a besler. Burada malzemenin homojen bir şekilde karıştırılması sağlanır. 1. Drum' ın 6 t/h' lik su verme kapasitesi olmasına karşın su ilavesi genellikle 2.Drum' da yapılır. Verilecek su miktarını 2.Drum karşılayamadığı durumlarda 1.Drum' dan da su verilebilmektedir. 1.Drum' da homojen bir şekilde karışan malzeme SM-4 bandına beslenir. 60 m uzunluğunda ve 530 t/h kapasiteli bu bant üzerindeki SM4 kantarı ile 2.Drum girişindeki malzeme miktarı belirlenir. SM-4 bandı taşıdığı malzemeyi 2.Drum' a aktarır. 2.Drum 3,048 m çapında 7,926 m uzunluğunda olup, 420 t/h kapasite ile çalışmaktadır. 2.Drum da yapılan su ilavesi ile malzemelerin karışması ve granülüzasyonu sağlanır. 2.Drum' dan çıkan sinter ham karışımı 75 m uzunluğundaki 545 t/h kapasiteli SM-5 bandına gelir. SM-5 bandı taşıdığı malzemeyi, 140 m boyundaki SM-6 bandına aktarır. Buradan da sinterlik ham karışım SM-7 bandına verilir. SM-7 bandı 27,5 m uzunluğunda olup

bu bantta bir şadıl vardır. Şadıl arabası ray üzerinde ileri geri hareket ederek malzemenin hoppers (doldurma hunisi) dengeli bir şekilde beslenmesini sağlar. Aşağıdaki tabloda hammadde konveyörleri ve drumların özellikleri görülmektedir.

Tablo 2.4 Hammadde konveyörlerinin özellikleri (Fabrika İşletme Notları, 2004)

İSİM	GENİŞLİK (mm)	UZUNLUK (m)	HIZ (m/s)	GÜÇ (KW)	KAPASİTE (T/H)	MALZEME CİNSİ
O-2	914	470	1,27	55	375	Toz cevher
M-2	914	450	1,93	55	125-375	Kok flaks
SM-1	762	80	0,69	55	220	Toz cevher
SM-2	762	14	0,69	4	220	Toz cevher
SM-3	762	192	1,22	22	370	Sinter mix
SM-4	762	60	1,65	18,50	530	Sinter mix
SM-5	762	73	2,03	30	545	Sinter mix
SM-6	762	140	2,03	45	545	Sinter mix
SM-7	762	27,5	1,92	75	545	Sinter mix

2.3.2 Ana Fan, Roll Feeder (Döner Besleyici), Sinter Makinası, Breaker (Kırıcı), Makine Çıkış Besleyicisi, Büyük ve Küçük Pan Konveyörü, Sıcak Elek

SM-7 bantındaki şadıl arabası; ray üzerinde ileri geri hareket ederek malzemenin döner besleyicinin doldurma hunisine dengeli bir şekilde beslenmesini sağlar. Doldurma hunisine gelen malzeme $\varnothing$ 910 mm çapında, 3700 mm uzunluğundaki ve 545 t/h kapasiteli döner besleyici ile sinter makinesine serilir (Fabrika İşletme Notları, 2004).

Döner besleyiciden gelen malzeme segregasyon plakası adı verilen $\sim 45^0$ açıyla yerleşmiş ve iri tanelerin yatağın alt kısımlarına gelmesini sağlayan plakaya dökülür. Yerçekimi etkisiyle iri tanelerin daha hızlı yuvarlanarak dip kısımlara inmesi prensibine dayanan bu işlem ile yatağın daha geçirgen olması sağlanır.

Serilen sinter hammaddesi içerisindeki kok tozunun tutuşturulması kok gazı ile sağlanır. Bu işlemin yapıldığı ateşleme fırınında yakma havasını sağlayan bir adet fan vardır. Fırın 18 m²’ lik alana sahip olup, yüksek alüminalı (korund) tuğla ile örülmüştür. Fırında 6 adet burner vasıtasıyla kok gazı ve hava karışımının tutuşturulması sağlanmaktadır. İdeal kok gazı hava oranı 1/6’ dır. Sinter makinasındaki hammadde karışımının ateşleme fırını altından geçişi esnasında yatağın yüzeyinde bulunan kok tozlarının tutuşması sağlanır. Ateşleme işlemi ile birlikte sinterleme işlemi başlar.

Sinter makine hızı, malzeme makine boşaltma ucuna varırken yüksek sıcaklıklı erime zonu ızgara tabakasına varacak şekilde ayarlanır. Sinterleme işlemi son kasaya kadar devam eder.

Sinter makinesinden dökülen sinter blokları sıcak sinter kırıcısında (breaker) kırılarak -150 mm ebadına indirilir.

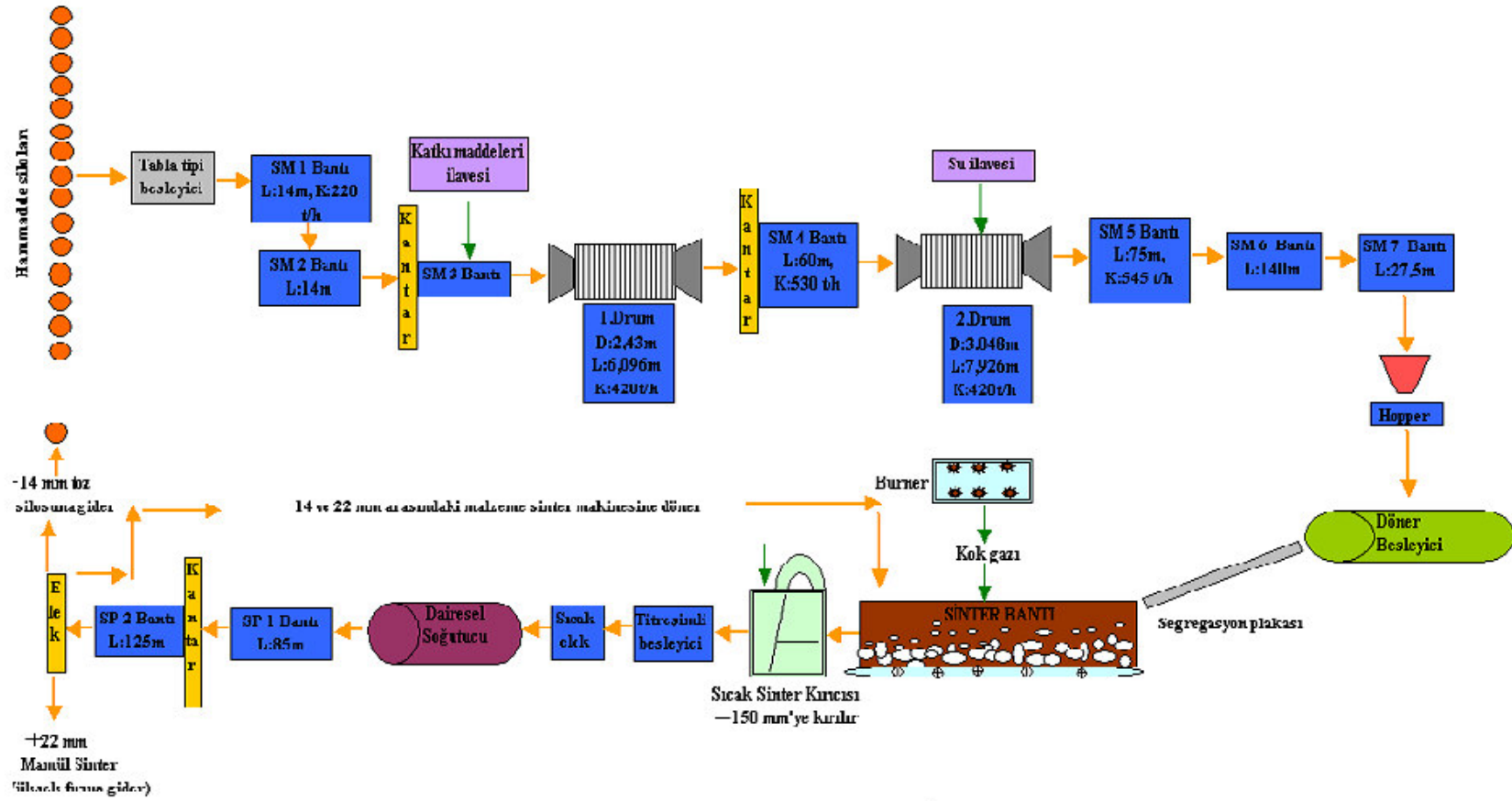
Breaker' da -150 mm' ye kırılan sinter, titreşimli çalışan makine çıkış besleyicisi ile büyük pan konveyörüne beslenir. Sinter, büyük pan konveyörü ile sıcak eleğe taşınıp elendikten sonra elek altı tozlar (-6 mm) sıcak toz silosuna küçük pan konveyörü ile taşınır ve buradan ilk harmana katılır.

Tablo 2.5 Sinter makinesi özellikleri (Fabrika İşletme Notları, 2004)

Uzunluk	5.831 m
Genişlik	3.00 m
Yakıt	Kok gazı
Gazın değeri	4180 K.cal/m ³
Gaz tüketimi	3.92 m ³ /ts
Fırın sıcaklığı	1050 °C
Fan	368 m ³ /dak. 75 Kw
Soğutma fanı	42 m ³ /dak
Refrakter türü	%80 Al ₂ O ₃ Korund
Burner sayısı	3x3

Tablo 2.6 Ateşleme fırını temel özellikleri (Fabrika İşletme Notları, 2004)

Makine uzunluğu	44,67 m
Makine genişliği	3,00 m
Sinterleme alanı	134 m ²
Makine hızı	160-500 cm/dak.
Palet miktarı	114
Palet boyutu	1,22x2,74 m
Palet malzemesi	ASTM A-217 Kalite WC-6
Izgara çubuk miktarı	225/palet
Izgara çubuk malzemesi	%28 Cr, %1.5 Ni
Izgara genişliği	4 cm
Yan duvar yüksekliği	50 cm
Windbox sayısı	11
Makine besleme kapasitesi	420 t/h
Güç	22,5 kw



Tesisteki Diğer Ekipmanların Teknik Özellikleri:

*** Breaker :**

Kapasite : 420 t/h
Kırılan sinter boyutu : -150 mm

*** Sıcak Elek :**

Boyut : 2200x6706 mm
Elek açıklığı : 6 mm
Kapasite : 420 t/h
Güç : 15 kw
Elek malzemesi sıcaklığı (maks.) : 950 °C

*** Makine Çıkış Besleyicisi:**

Boyut (GxUxY) : 1219x1721x1525 mm
Kapasite (t/h) : 200-400 (490)
Motor (Kw) : 7,5 kw (380V-950 RPM)

*** Büyük Pan Konveyörü:**

Genişlik (mm) : 1219
Uzunluk (m) : 152
Hız (m/s) : 0,40
Güç (Kw) : 37,5
Kapasite (t/h) : 490

*** Küçük Pan Konveyörü:**

Genişlik (mm) : 610
Uzunluk (m) : 152
Hız (m/s) : 0,31
Güç (Kw) : 11,25
Kapasite (t/h) : 133

*** Ana Fan**

Kapasite : 16272 m³/dak. (1300 mmWG, 135°C)
Rotor boyutu : 1346 Ø mm
Güç : 5750 Kw
Rotor Devri : 1000 devir/dak.

2.3.3 Dairesel Soğutucu, SP ve SF Bantları, Soğuk Elek, Toz Eleği, HL Besleyicisi, Bantları ve Hopperi

Sıcak elekte elenen ve elek üstü olup dairesele sinter soğutucusuna gelen sinterin sıcaklığı taşıyıcı bantlara zarar vermeyecek ve taşınma esnasında meydana gelen bozunmalardan korunabilecek ölçüde ($\sim 70^{\circ}\text{C}$ ' ye) soğutulur. Soğutma işlemi dairesele soğutucuda 3 adet fan vasıtasıyla hava üflenerek yapılır. Dairesel soğutucuya gelen malzeme sıcak elekten sonra bir şut yardımıyla beslenir. Soğutucu bir devrini tamamladığında soğutma işlemi tamamlanır. Soğutucuda birbirinden bağımsız paletler dairesele yörüngedeki bir ray üzerinde hareket ederler. Döküş noktasına gelen palet, burada farklı pozisyonlardaki raylar vasıtasıyla boşaltma işlemini gerçekleştirir ve taşıdığı malzemeyi soğutucu çıkış besleyicisine döker. Besleyici vibrasyonla çalışır soğutulan sinteri 85 m uzunluğundaki SP-1 bandına aktarır. Ayrıca soğutucu altındaki hopperlere dolan sinter D3 bantıyla SP-1 bandına beslenir (Fabrika İşletme Notları, 2004).

SP-1 malzemeyi 125 m uzunluğundaki SP-2 bandına döker. Bu bant üzerindeki SP2 kantarı vasıtasıyla soğutucu çıkış besleyicisinden çıkan elenmemiş sinter miktarı belirlenir. SP-2 bandı ile üst perde açıklığı 22 mm, alt perde açıklığı 14 mm olan soğuk eleğe taşınır ve burada elenerek **mamul sinter** (+22 mm), **yatak malzemesi** (14-22 mm) ve **toz** (-14 mm) şeklinde sınıflandırılır. 14-22 mm' ye elenen sinterin bir kısmı, yatak malzemesi olarak kullanılmak üzere (HL) bantları ile sinter makinesine geri döner. Sinter makinesine ham karışım beslenmeden önce makine üzerine yatak malzemesi 25-30 mm kalınlıkta serilir. Yatak malzemesi sinter makinesi ızgaralarının maruz kalacağı ısı miktarını azaltarak, malzemelerin ızgaralara yapışmasını önlemek suretiyle ızgara ömrünü uzatır. Ayrıca toz malzemenin ızgara deliklerinden aşağıya dökülmesini önleyerek kaçak toz şeklindeki kayıpları azaltır.

45 t/h kapasiteli, vibrasyonlu HL (hearth layer/yatak) besleyicisinin hızı kontrol odasından ayarlanarak hearth layer malzemesi (yatak malzemesi) istenilen miktarda 240 m uzunluğundaki HL-1 bandına beslenir. Bu banttaki HL-1 kantarı vasıtasıyla, kullanılan hearth layer miktarı belirlenmektedir. HL-1 yatak malzemesini, 40 m uzunluğundaki HL-2 bandına döker. HL-2 bandı da sinter yatağı malzemesini doldurma hunisine besler. Yatak malzemesinin doldurma hunisinin, döner besleyicinin doldurma hunisinin arkasında olmasından dolayı ilk önce yatak malzemesi makineye serilmektedir. Yatak malzemesi hopperin tabanı ve yüksekliği ayarlanabilen bir plaka arasındaki boşluktan geçerek makineye serilir böylece istenilen hearth layer yüksekliği (3 cm) ayarlanmış olur.

Mamul sinter (+22 mm) yüksek fırınlar' a gönderilmek üzere 120 m uzunluğundaki SP-3 bandına beslenir. Bu bant üzerindeki SP3 kantarı ile saatlik ve günlük sinter üretimi belirlenir. SP-3, mamul sinteri 78 m uzunluğundaki SP-4 bandına aktarır. SP-4 de, sinteri 170 m uzunluğundaki SP-5 bandına besler. SP-5 bandının görevi mamül sinteri yüksek fırın silolarına aktarmaktır. Eğer sinter fabrikasının üretmiş olduğu sinter 1. ve 2. Yüksek Fırınların günlük ihtiyacının üzerindeyse veya SP-5 bandında bakım işleri olduğunda kontrol odası operatörü SP-4 döküş noktasındaki flow-gate kapağını mamül siloya çevirir, böylece mamül sinter SP-4 bandı üzerinden 370 ton kapasiteli mamül sinter stok silosuna stoklanır. Bu silo vasıtasıyla stok sahasına sinter gönderilmektedir.

-14 mm boyutundaki toz sinter de 28 m uzunluğundaki SF-1 bandına dökülür ve bu bant ile toz eleğine taşınır. 5 ile 7 mm elek açıklığı olan 50 t/h kapasiteli toz eleğinde elenen sinterin elek üstü yüksek fırınlara, elek altı da soğuk sinter toz silosuna 84 m uzunluğundaki SF-2 ve 88 m uzunluğundaki SF-3 bantlarıyla alınarak ilk harmana (SM-4) geri beslenir (Fabrika İşletme Notları, 2004).

Bu bölümde incelenen ekipmanların özellikleri ve bu bölümde istenen otomasyonlar aşağıda açıklanmıştır.

*** Dairesel Soğutucu**

Tip	: Lurgi Dairesel Soğutucu
Çap	: 16,76 m
Tava genişliği	: 350 cm
Yatak derinliği	: 127 cm
Kapasite	: 350 t/h
Soğutma alanı	: 153 m ²
Hız	: 60-150 cm/dak.
Güç (toplam)	: 182,5 Kw
Soğutma fan sayısı	: 3
Soğutma fan kapasitesi	: 12800 m ³ /dak. (254 mmWC 21°C)

Soğuk Elek

Boyut	: 829x3658
Açıklık	: Üst perde : 22 mm Alt perde : 14 mm
Kapasite	: 350 t/h
Güç	: 15 Kw

*** Toz Eleği**

Boyut : 1,2x2,7

Açıklık : 8 mm

Kapasite : 50 t/h

Güç : 7,5 HP (1500 RPM)

3. TOZ KONTROL SİSTEMLERİ

Toz kontrol sistemlerini; ön arıtım için kullanılan siklonlar, çökeltme odaları ve ıslak arıtıcılar ve ileri kademe toz tutma amacı ile kullanılan torbalı ve elektrostatik filtreler ile ventüri tipi ıslak arıtıcılar olarak ayırmak mümkündür.

3.1 Partikül Tutma Mekanizmaları

Bir gaz ortamında askıda bulunan partiküllerin tutulması için (ortamdan uzaklaştırılması için), gaz-partikül karışımının (gazın), partikülleri akım yönünden saptıracak bir kuvvet (veya kuvvetler)' in bulunduğu bir tutma alanı' ndan geçmesi gerekmektedir. Partiküller bu alanda akım yönünden saptırılarak bir toplama yüzeyi' ne temas etmek suretiyle ortamdan uzaklaştırılmak için yeterli olacak bir bekleme zamanı (residence time) süresi içinde kalmaları gerekmektedir. Bazı durumlarda, gaz akımı yönünde hareket eden partikül herhangi bir kuvvet tarafından cezbedilmeden direkt olarak bir toplama yüzeyine çarpar ki bu duruma **Doğrudan Çarpma** (Direct Interception) adı verilir.

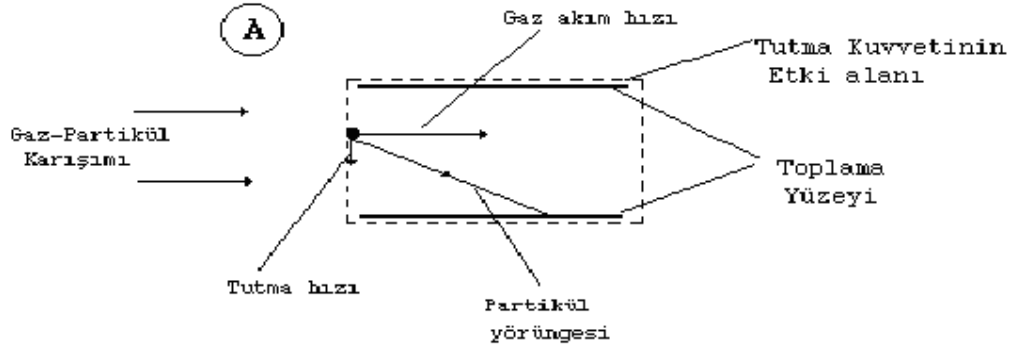
Burada yapılan varsayımlardan biri, partikülün bir kere toplama yüzeyine çarptığı anda ona yapışarak bir daha tekrar gaz akımına geri dönmeyeceğidir (re-entrainment). Bunu temin etmek ve aynı zamanda tutulan partikülleri toplama yüzeyinden uzaklaştırmak için gerekli önlemler alınmalıdır (Ertürk, 2004).

Şekil 3.1.a ve 3.1.b' de görüldüğü gibi, toplama yüzeyleri genel olarak 2 kategoriye ayrılabilir:

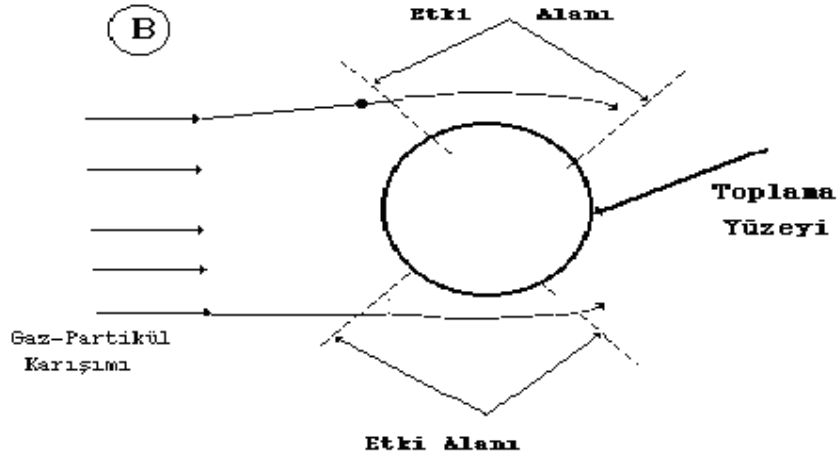
- Düzlem veya içi boş silindir (Şekil 3.1.a)
- Silindir veya küre şeklinde parçacıklar (target) [mesela, silindir şeklinde elyaf (filtrelerde), küre şeklinde damlalar (ıslak arıtıcılarda)] (Şekil 3.1.b)

Partiküllerin tutulmasında etki eden kuvvetler :

1. Yerçekimi (A ve B)
2. Santrifüj kuvveti (A)
3. Atalet (inertia) (B)
4. Doğrudan Çarpma (B)
5. Diffüzyon (Brownian hareketler), (B)
6. Elektrostatik (A veya B)



Şekil 3.1.a Partikül tutma mekanizmaları (Ertürk, 2004)



Şekil 3.1.b Partikül tutma mekanizmaları (Ertürk, 2004)

Tablo 3.1 Çeşitli kontrol cihazlarında tutma yüzeyleri (Ertürk, 2004)

Yüzeysel		
Cihaz İsmi	Toplama Kuvveti	Toplama Yüzeyi
Çökeltme Odası	Yerçekimi	Düzlem , yüzeysel
Siklon	Santrifüj	Düzlem, silindirik
Elektrostatik Filtre	Elektrostatik	Düzlem, silindirik
Parçacık(Target)		
Filtre (dolgu)	Atalet Difüzyon Doğrudan Çarpma Elektrostatik Kuvvet	Silindir elyaf veya granül
Filtre (torba)	Doğrudan çarpma	Partikül Tabakası
Islak Arıtıcı	Atalet	Küresel,düzensiz

Kullanılan çok çeşitli tür, kapasite ve verimlerdeki cihazlara karşın, toz tutucu cihazlar beş temel grupta incelenebilir (Heinsohn ve Kabel, 1999).

1) Partikül Kontrol Sistemleri

- Çökeltme odaları
- Siklonlar
- Torbalı filtreler (Dokuma filtreler)
- Islak tutucular
- Elektrostatik ayırıcılar

2) Gaz ve Buhar Kontrol Sistemleri

- Islak ayırıcılar (Absorpsiyon)
- Aktif kömür (Adsorpsiyon)
- Termal giderim (Kimyasal oksidasyon)
- Biyolojik oksidasyon
- İleri oksidasyon (UV ışınları)

Bu gruplara giren cihazlardan hangilerinin hangi durumlarda kullanılacağını seçimine etki eden faktörler şunlardır (Müezzinoğlu, 1987):

1) Tanecik Özellikleri

- a) Tanecik boyut dağılımı
- b) Tanecik biçimi
- c) Taneciğin yapışkanlığı
- d) Taneciğin su emme kabiliyeti
- e) Taneciğin elektriksel özellikleri
- f) Taneciğin yoğunluğu

2) Taşıyıcı Gazın Özellikleri

- a) Sıcaklık
- b) Nem miktarı
- c) Paslandırma özelliği
- d) Alev alma özelliği

3) Proses Özellikleri

- a) Gaz debisi
- b) Tozluluk konsantrasyonu
- c) İzin verilecek basınç kaybı
- d) Sürekli mi, kesikli mi çalıştırıldığı
- e) İstenen toz tutma verimi
- f) Tutulan tozların bertaraf yöntemleri

4) İşletme Özellikleri

- a) Çalışma alanı
- b) Cihaz sınırlamaları (Basınç, sıcaklık, korozyon)

5) Ekonomi

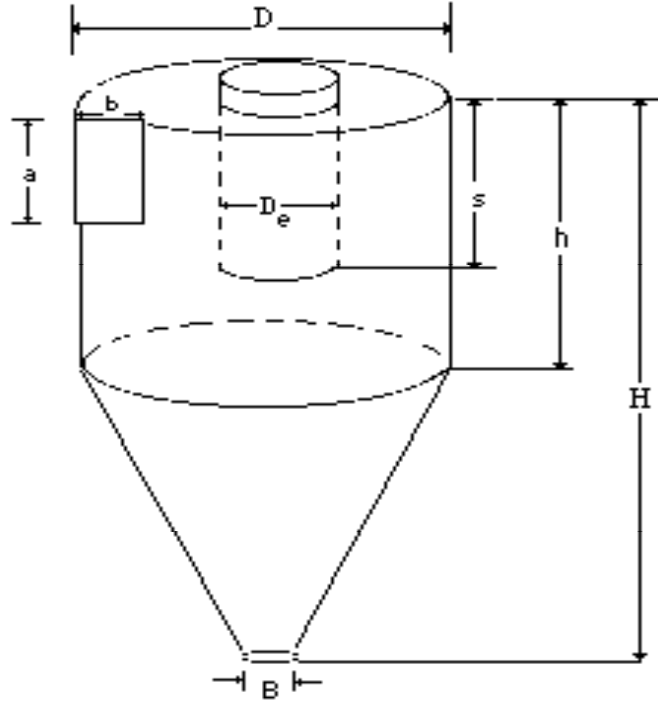
- a) İlk yatırım masrafları
- b) İşletme masrafları
- c) Bakım masrafları

Yukarıda sayılan faktörler göz önünde bulundurularak sistem için gerekli toz tutucu belirlenmektedir.

3.2. Siklonlar

3.2.1 Siklonların Tanıtılması ve Çalışma Prensibi

Siklonlar, esas tutma kuvveti santrifüj kuvveti olan toz tutma cihazlarıdır. Tipik bir siklonun şekli ve projelendirmeye esas olan boyutları Şekil 3.2' de gösterilmiştir (Ertürk,2004).



Şekil 3.2 Tipik siklon boyutları (Ertürk, 2004)

Toz-gaz karışımı yüksekliği a ve genişliği b olan dikdörtgen şeklindeki ağızdan teğetsel olarak siklona girer. Böylece karışım dönerek helezoni bir şekilde aşağıya doğru hareket eder. Bu hareket esnasında partiküller, bilhassa D çapında ve h yüksekliğindeki silindirik bölgede siklon (toplama) yüzeyine doğru radyal yönde hareket ederler. Gaz akımı D_e çapında ve s yüksekliğindeki çıkış borusunun (vorteks finder) altında dönmeye başlayınca içeriye doğru bir gaz hareketi başlar. Gaz akımının helezonik şekilde dönerek oluşan hareketi $(H-h)$ yüksekliğindeki konik kısımda da devam eder ve daha sonra içeriye ve yukarı doğru yükselerek çıkış borusundan siklonu terk eder. Bu harekete "Ters akım" (reverse-flow) denilmektedir. Bu arada, büyük bir kısmı siklonun üst silindirik kesiminde ve bir kısmı da alt konik kesimde duvarlara çarpan tozlar aşağı doğru kayarak siklonu terk ederler (Ertürk, 2004).

Siklon tasarımımda siklon ebadını karakterize eden parametre siklon çapı (D)' dir. Diğer tüm boyutlar ile bu değer arasında belirli oranlar oluşturulmuştur. Bu nedenle gerekli siklon çapı belirlendiği takdirde diğer boyutlar, seçilen siklon tipi için kolaylıkla hesaplanabilecektir (Elcuman,1993).

Siklonun boyutlandırılmasında siklon çapını esas alan 7 geometrik boyut:

* a/D , b/D , D_e/D , S/D , h/D , H/D , B/d

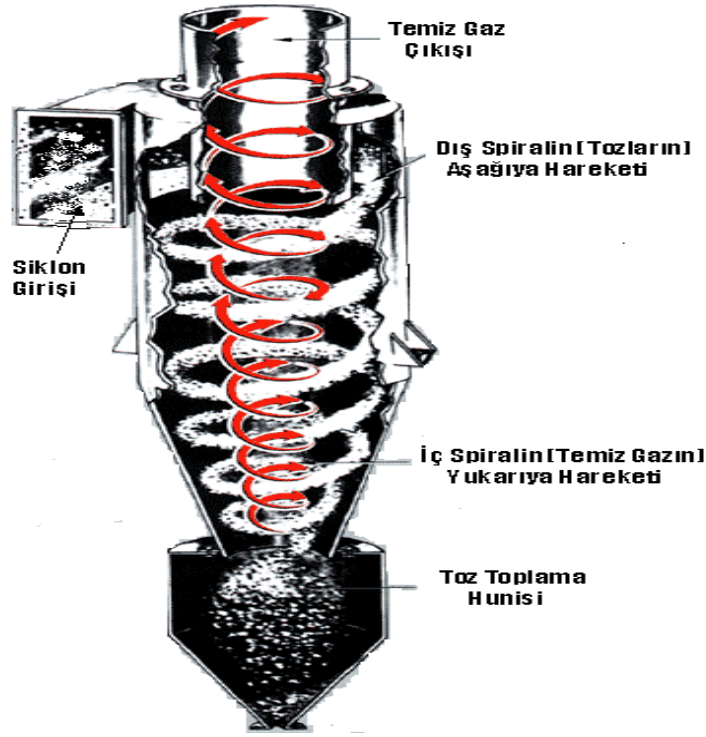
Bu boyutların seçimi aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- .Gaz debisi, sıcaklık, basınç
- .Toz yükü
- .Toz ebad dağılımı
- .Öngörülen verim

Optimum tasarım için her bir partikül aralığı (grade)' na tekabül eden tutma verimini (η_i) ifade eden bir modelin bulunması ve basınç kaybının (ΔP) hesaplanması gerekmektedir (Ertürk, 2004).

Siklon giriş hızı genellikle 15-30 m/s (50-100 ft/s)' dir (Cooper ve Alley, 2002). Siklonlarda, siklonun çapı küçüldükçe giriş hızı artar ve buna bağlı olarak verim artar. Bununla birlikte hızın artışı hem siklonda yük kaybına hem de belli değerden küçük çaplarda tutulmuş olan tozların gaza geri karışmasına sebep olur. Bu yüzden siklon dizaynında öncelikle düşük geri taşınım ve yüksek verim sağlanacak şekilde hazırlanmış olan ampirik formüller kullanılarak bir optimum çap belirlenir. Bu çapın meydana getirdiği yük kaybı yine ampirik formüllerin yardımı ile hesaplanarak, siklonlarda genellikle müsaade edilen en yüksek basınç kaybı olan 10 inch veya 25 cm su sütünü ile karşılaştırılır. Bu değer altında olan yük kayıplarını veren siklon çapları uygulanabilir çaplardır ve bu çaplara göre standardize edilmiş tablolardan gerekli tasarım oranları seçilir ve siklon dizaynı belirlenir. Bu dizaynın verimi toz karışımı içinde mevcut partikül çaplarına ve bu çapların mevcut karışım içinde bulunma yüzdelerine bağlı olarak hesaplanır (Ercümen, 1995).

Taşıyıcı gaz siklonun içinde başlıca iki hareket yapar. Yukarı doğru çıkan ve temiz gazı taşıyan siklonun orta kısmından yükselen spiral hareket ve diğeri de santrifüj kuvvetin etkisi ile siklon duvarına çarpıp aşağı doğru inen, gaz içindeki tozların oluşturduğu spiral harekettir (Cheremisinoff ve Bhatia, 1977).



Şekil 3.3 Siklon içindeki gazın ve tozun hareketleri (E.P.A., 1997)

Siklon çapının artırılması partiküllere etki eden santrifüj kuvvetini düşürür ve bu da siklonun toz tutma verimini etkiler. Bu nedenle yüksek hacimlerdeki tozların tutulması gerektiğinde siklonun çapını yükseltmek yerine küçük çaplı birden fazla siklon kullanılmalıdır. Tavsiye edilen siklon çapları (Bretschneider ve Kurfürst, 1987):

- 1) 1-2 Adet siklon kullanılacaksa; 475 – 2.500 mm
- 2) 4-16 Adet siklon kullanılacaksa; 475-1.600 mm
- 3) 60 ve Daha Fazla siklon kullanılacaksa; 160-630 mm olabilir.

3.2.2 Sistem Performansının Modellenmesi

3.2.2.1 Basit Model (Piston Akım)

Bu modelde partiküllerin siklonun girişinde üniform olarak dağıldığı varsayılmaktadır. Herhangi bir d_p çapındaki tozun % 100 bir verimle tutulması için, siklonun içine R_i yarıçapında giren bu partiküllerin tümünün N_e devir tamamlanmadan önce R_o yarıçapındaki siklonun duvarına santrifüj kuvveti ile çarpması gerekmektedir. Dolayısıyla, R_i ile R_o arasında herhangi bir R yarıçapında siklona giren d_p ebadındaki tüm partiküller de % 100 verimle tutulacaktır. N_e devir sonunda % 100 verimle tutulmayan partiküllerin ise sadece

siklon duvarına $R_0 - R^*$ mesafesinde olanları tutulacaktır. Burada R^* , d_p ebadındaki partiküllerin N_e devir esnasında siklonun duvarına çarpıp tutulduğu minimum (kritik) yörünge yarıçapıdır. Bu durumda kısmi (fraksiyonel) verim(Wark vd., 1998);

$$\eta_d (\%) = \frac{R_0 - R^*}{R_0 - R_i} \quad (3.1)$$

$\eta_d (\%)$: Kısmi tutma verimi

R_0 : Siklon yarıçapı (ft veya m)

R_i : Partikülün siklona giriş yarıçapı (ft veya m)

olarak ifade edilebilir. Burada ($R_0 - R_i$) aynı zamanda siklonun giriş borusunun genişliği (b) olmaktadır. $R_0 - R^*$ için bir ifade geliştirmek suretiyle kısmi tutma verimi (η_d) için "ölçülebilen" parametreler cinsinden bir denklem çıkarılabilir. $R_0 - R^*$ mesafesi direkt olarak gaz akımına dik olan (radyal) partikül hızı ile gaz akımının dış vortekste geçirdiği sürenin çarpımına eşittir. Radyal hız (V_n) ise radyal yöndeki santrifüj kuvveti ile sürtünme kuvvetleri arasındaki dengeden bulunabilir (yerçekimi kuvveti ihmal edilecektir). Stokes partikülleri için bu denge aşağıdaki şekilde yazılabilir (Wark vd., 1998):

$$3\pi d_p \mu V_n = \rho_p \left(\frac{\pi d_p^3}{6} \right) \left(\frac{V_t^2}{R} \right) \implies V_n = \frac{\rho_p d_p^2 V_t^2}{18\mu R} \quad (3.2)$$

d_p : Partikül çapı (ft veya m)

μ : Viskozite (lb/ft-sn veya kg/m-sa)

ρ_p : Partikül (toz) yoğunluğu (lb/ft³ veya kg/m³)

R : Siklon çapı (ft veya m)

Bu ifadede, V_n partikülün normal (radyal) hızı, V_t ise vortekse tanjant olan hızı olup gerçekte R' nin fonksiyonu olmasına rağmen, gazın siklona giriş hızı olan V_g' ye eşit olduğu kabul edilecektir. V_n ise, $V_n = (R_0 - R^*)/\Delta t$ olarak ifade edilebilir. Bu ifadeler denklem (3.2)' ye konulduğunda aşağıdaki denklem elde edilebilir (Wark vd., 1998):

$$R_0 - R^* = \frac{\rho_p d_p^2 V_g^2 t}{18\mu R} \quad (3.3)$$

Partikülün dış vortekste geçirdiği Δt süresi ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Wark vd., 1998):

$$\Delta t = \frac{2 \pi R N}{V_g} \text{ (sa veya sn)} \quad (3.4)$$

Δt ifadesi denklem (3.3)' e konduğunda;

$$Ro - R^* = \frac{\pi \rho_p d_p^2 V_g N}{9\mu} \quad (3.5)$$

N_e : Partikülün siklon içindeki dönüş sayısı

elde edilir. Bu ifade denklem (3.1)' e konduğunda kısmi tutma verimi için aşağıdaki ifade elde edilebilir(Wark vd., 1998):

$$\eta_d (\%) = \frac{\pi N_e \rho_p d_p^2 V_g}{9\mu b} = \frac{\pi N_e \rho_p d_p^2 Q}{9\mu a b^2} \quad (3.6)$$

Q: Debi (ft³/sn veya m³/sn)

a: Siklon girişi yüksekliği (ft veya m)

b: Siklon girişi genişliği (ft veya m)

Denklem (3.6)' dan görüleceği gibi, siklon verimi santrifüj kuvvetinin sürtünme kuvvetine oranına bağlıdır:

$$\eta \propto \frac{\text{santrifüj kuvveti}}{\text{sürtünme kuvveti}} \propto \frac{V_p \rho_p d_p^2}{R \mu g} \quad (3.7)$$

g: Yerçekimi ivmesi (m/sn²)

Yukarıdaki ifadelerde kullanılan devir sayısı siklonun geometrisine bağlı olup aşağıdaki şekilde yaklaşık olarak ifade edilebilir (Wark vd., 1998) :

$$N_e = \frac{1}{a} \left[h + \left(\frac{H - h}{2} \right) \right] \quad (3.8)$$

H:Toplam siklon uzunluğu (ft veya m)

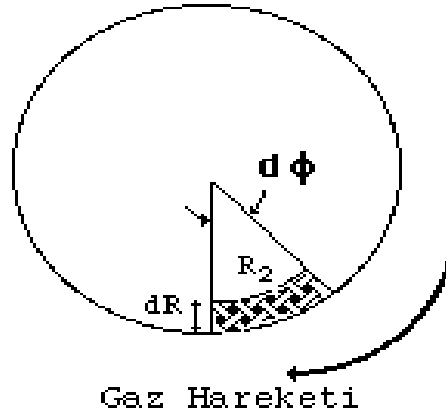
h: Siklonun silindirik kısmının uzunluğu (ft veya m)

3.2.2.2 Radyal Karışım (Dikey Karışım Piston Akım Modeli)

Bu model, daha önceki bölümde bahsi geçen dikey (radyal) karışım piston akım (lateral-mix plug flow) modelini esas almaktadır.

Yapılan gözlemler, tutulmayan partiküllerin herhangi bir yatay kesitte üniform bir karışım (tam radyal karışım) gösterdiklerinin kabul edilebileceğini ortaya koymaktadır. Bunun nedeni, partiküllere etki eden santrifüj (merkezkaç) kuvvetine rağmen, aşağıdaki faktörlerin etki etmesinden dolayı merkeze doğru radyal bir karışım meydana gelmektedir (Ertürk, 2004):

- Vortekste türbülans ve "eddy" lerin bulunması
- Çıkış borusu (S)' nun altında merkeze doğru meydana gelen gaz akımının partiküller üzerinde yaptığı sürüklenme (drag) etkisi
- Silindir duvarlarından seken partiküller



Şekil 3.4 Radyal karışım piston akım modelinde gaz hareketi (Ertürk,2004)

dt zamanı içinde, sadece siklonun duvarına dR mesafesinde olan partiküller (R_2) çapında duvara doğru hareket ederek tutulacaklardır. Bu arada, yine dt süresi içinde partiküller dairesel yönde $R_2 d\phi$, dikey yönde ise d_L mesafesi katederler. Tutulan partiküllerin sayısı (dn') (Ertürk, 2004);

$$-dn' = d\phi / 2 \left[R_2^2 - (R_2 - dR)^2 \right] n d_L \quad (3.9)$$

Bu bölümde bulunan toplam partikül sayısı, n' ;

$$n' = d\phi / 2 R_2^2 n d_L \quad (3.10)$$

Dolayısıyla dt süresi içinde tutulan partiküllerin oranı (fraksiyon);

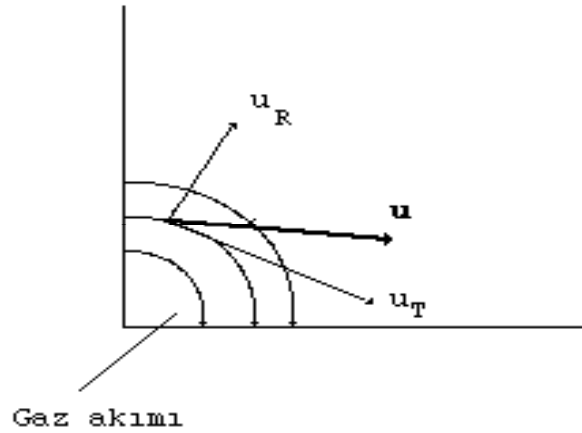
$$-dn' / n' = \left[2R_2 dR - (dR)^2 \right] / R_2^2 \quad (3.11)$$

Denklem (3.11)' in sağ tarafındaki 2. derece diferansiyel ihmal edilirse;

$$-dn'/n' \approx 2dR/R_2 \quad (3.12)$$

Partikül Yörüngesi

Herhangi bir gaz akımı vorteksinde bulunan bir partikül, etkisi altında kaldığı merkezkaç kuvveti ve ters yönde etki eden sürüklenme kuvveti (drag force) neticesinde aşağıya doğru helezoni bir yörünge takip edecektir. Partikülün hız vektörü, u' nun bir dairesel bileşeni (u_T), radyal bileşeni (u_R), bir de dikey yönde bileşeni (u_g) olacaktır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Dönen bir gaz içinde partikül yörüngesi (Ertürk, 2004)

Dönen gazın sadece dairesel (tangential) bileşeni (v_T) olduğu ve radyal hızının olmadığı ($v_R=0$) farzedilecektir. Ayrıca, dairesel yönde kaymanın olmadığı yani $v_T = u_T$ varsayılacaktır. u_T ' nin R ile değişimi (Ertürk,2004),

$$v_T R^n = v_{T1} R^n = v_{T2} R_2^n = Sabit$$

İdeal bir akışkan için vorteks akımında $n = 1$ olmakta, fakat gerçek akımlarda $0.5 < n < 1$ değerleri arasında değişmektedir. Radyal yöndeki hareket için Newton kaidesi tatbik edilirse;

$$m_p du_R / dt = m_p u_T^2 / R - F_D \quad (3.13)$$

$u_R = dR/dt$ olduğuna göre, küresel partiküller için ;

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = \frac{[u_{T1}^2 R^{2n}]}{R^{2n+1}} - \frac{3}{4} C_D \frac{\rho_f}{\rho_p} \frac{1}{d_p} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 \quad (3.14)$$

C_D : Sürüklenme katsayısı

F_D : Dairesel yöndeki kuvvet

Bu denklem non-lineer olup, ayrıca C_D , u_R ile değişmektedir. Stokes partikülleri için (Ertürk, 2004),

$$d^2 R / dt^2 = \left[u_{T1}^2 R_1^{2n} \right] / R^{2n+1} - 1 / \tau (dR / dt) \quad (3.15)$$

Bu ifadede τ partikül - gaz sistemlerinin temel özelliklerinden biri olup partikülün ilk hızının sürtünme (sürüklenme kuvveti) ile $(1/e)$ veya % 36.8 oranında azalması için gerekli zaman (relaxation time) olarak tanımlanmaktadır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\tau = \frac{\rho_p d_p^2}{18\mu} \quad (3.16)$$

Denklem (3.15)' te $d^2 R / dt^2$ terimi ihmal edilirse,

$$dR / dt = \left[\tau u_{T1}^2 R^{2n} \right] / R^{2n+1} = \tau u_{T2}^2 / R_2 (R_2 / R_1) \quad (3.17)$$

Bu ifade integre edildiği takdirde,

$$t = R_1^2 / 2(n+1)\tau u_{T1}^2 \left[(R / R_1)^{2n+1} - 1 \right] \quad (3.18)$$

Denklem (3.18) vasıtasıyla partikül yörüngesi bulunabilir.

$$dR / dt = \tau u_{T2}^2 / R_2 \left[2(n+1)\tau (u_{T2} / R_2)^2 t \right]^{-(2n+1)(2n+2)} \quad (3.19)$$

(3.12) ve (3.19) birleştirildiği ve t kalma süresi (residence time) için entegre edildiği takdirde;

$$\int_{n0}^{n'} \frac{dn'}{n'} = - \left(\frac{2\tau u_{T2}^2}{R_2^2} \right) \left[2(n+1)\tau \left(\frac{u_{T2}}{R_2} \right)^2 t \right]^{-\frac{(2n+1)}{(2n+2)}} \int_0^t t^{-(2n+1)/(2n+2)} dt \quad (3.20)$$

Denklem (3.20)' den verim için aşağıdaki ifade çıkarılabilir:

$$\eta = 1 - \exp \left\{ - 2 \left[2(n+1)\tau (u_{T2} / R_2)^2 t \right]^{1/(2n+2)} \right\} \quad (3.21)$$

$R_2 = D/2$, u_{T2} ise giriş borusundaki ortalama giriş hızı olarak alınabilir.

Alexander (1949), deneysel çalışmalar neticesinde n için aşağıdaki ampirik korelasyonu vermiştir:

$$n_i = 0.67 (D)^{0.14}; 10^\circ\text{C'da} \quad (3.22)$$

η_i : Kısmi verim

D: Siklon çapı (m)

Diğer sıcaklıklar için :

$$(1 - n_T) / (1 - n_i) = (T / 283)^{0.3} \quad (3.23)$$

(3.22) ve (3.23) birleştirilirse,

$$n_T = 1 - \left[1 - 0.67 (D)^{0.14} \right] (T / 283)^{0.3} \quad (3.24)$$

T: Sıcaklık ($^\circ\text{K}$)

D: Siklon çapı (m)

Kalma Süresi (Residence Time)

$$(t_{\min.})_{ort.} = \left[(S - a/2) (D^2 - D_e^2) \right] / 4Q = V_s / Q \quad (3.25)$$

Burada,

$$V_s = \left[(S - a/2) (D^2 - D_e^2) \right] / 4 \text{ (m / sn veya ft / sn)} \quad (3.26)$$

S: Vorteks (siklon çıkışı) uzunluğu (ft veya m)

D_e: Vorteks çapı (ft veya m)

Aleksander (1949) uzun cam siklonlarla yaptığı deneylerde gazın vorteksin konik kısmının altına varmadan önce dönüş yaptığını bulmuş ve buna "doğal uzunluk" adını vermiştir:

$$L = 2.3 D_e (D^2 / ab)^{1/3} \text{ (ft veya m)} \quad (3.27)$$

Vorteksin ucuna kadar geçen maksimum ilave süre :

$$t_{\max.} = V_{nL} / Q \text{ (sn)} \quad (3.28)$$

Burada V_{nL} ; vorteksin dönüş yaptığı doğal uzunluğa kadar siklonun alt kısmındaki "efektif" hacimdir. Efektif hacim aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Aleksander, 1949):

$$V_{nL} = \frac{\pi D^2}{4} (h - S) + \frac{\pi D^2}{4} \frac{(L + S - h)}{3} \left[1 + \frac{d}{D} + \frac{d^2}{D^2} \right] - \frac{\pi D_e^2}{4} L \text{ (ft}^3 \text{ veya m}^3 \text{)} \quad (3.29)$$

Burada,

$$d = D - (D - B)(L + S - h)/(H - h) \text{ (ft veya m)} \quad (3.30)$$

Pratikte siklonun (H-S) boyutu doğal vorteks uzunluğuna eşit olmalıdır. Bu durumda siklonun çıkış borusu altındaki geometrik hacmi V_{nL} ' e eşit olacaktır:

O halde gaz akımının siklon içindeki ortalama toplam kalma süresi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$t_r = [V_s + V_{nL} / 2] / Q = K_c D^3 / Q \text{ (sa veya sn)} \quad (3.31)$$

Burada,

$$K_c = [V_s + V_{nL} / 2] / D^3 \text{ (Birimsiz)} \quad (3.32)$$

K_c , belirli bir siklon boyutu için, sadece çeşitli boyut oranlarına bağlı olan birimsiz (dimensionless) bir sabittir (Ertürk, 2004).

Boyut Verimi

Denklem (3.21)' deki t yerine denklem (3.32) ile ifade edilen kalma süresi, u_{T2} yerine $u_T = Q/ab$ ve R_2 yerine $D/2$ konduğu takdirde,

$$\eta_i (\%) = 1 - \exp \left\{ -2 \left[\frac{(n+1)\tau_i Q}{D^3} \left(\frac{8 K_c}{K_a^2 K_b^2} \right) \right]^{\frac{1}{2n+2}} \right\} \quad (3.33)$$

veya

$$\eta_i (\%) = 1 - \exp \left\{ -2 [\psi_i K]^{\frac{1}{2n+2}} \right\} \quad (3.34)$$

Burada,

$$\psi_i = (n+1) \frac{\tau_i Q}{D^3} \quad \text{ve} \quad K = \frac{8 K_c}{K_a^2 K_b^2} \quad (3.35)$$

ψ : Sabit (Birimsiz)

K: Verim parametresi (Birimsiz)

Denklem (3.35) aynı zamanda aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir:

$$\eta_i = 1 - \exp[-M d_{pi} N] \quad (3.36)$$

$$M = 2 \left\{ (K Q / D^3) [\rho_p (n+1) / 18\mu] \right\}^{1/(2n+2)} = 1/(n+1) \quad (3.37)$$

3.2.3 Geri Taşınma (Saltation)

Denklem (3.35) veya (3.36)' dan görüldüğü gibi gaz debisi, Q (veya giriş hızı, u_T) arttıkça h artacak ve üst sınırdaki % 100' e yaklaşacaktır. Halbuki gerçekte u_T için bir üst sınır bulunduğu ve bu üst sınırın üzerinde verimin düştüğü gözlenmektedir. Bu durum, partiküllerin gaz akımına geri taşınmasından dolayı meydana gelmektedir.

Siklonlar için Kalen ve Zenz (1974) partikül geri taşınımının etkili olduğu optimum giriş hızı için ampirik bir ifade geliştirmişlerdir:

$$u_s = 2.055 \left[\frac{4 g \mu \rho_p}{3 \rho_f^2} \right]^{1/3} \left[\frac{(b/D)^{0.4}}{(1-b/D)^{1/3}} \right] D^{0.067} u_T^{2/3} \quad (3.38)$$

u_s : Optimum partikül giriş hızı (ft/sn)

u_T : Partikülün dairesel yörüngedeki hız bileşeni (ft/sn)

(Birimler : ft,libre,saniye[feet,pound,second] cinsinden)

Kalen ve Zenz (1974), maksimum tutma veriminin $u_T/u_s = 1.25$ ' de olduğunu ve $u_T/u_s = 1.36$ ' da önemli ölçüde geri taşınma olduğunu göstermişlerdir. Koch ve Licht (1977)' de bu kriterin sağlanması için, tipik siklon boyutlarında ($b/D = 0.2$), partikül yoğunluğunun 1- 2.5 gm/cm³ olduğu durumlarda, u_T ' nin 50 - 90 ft/sn arasında olması gerektiğini bulmuşlardır. $u_T/u_s = 1.25$ için denklem (3.39) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$u_T = 16.95 \frac{4}{3} g \left[\frac{\mu \rho_p}{\rho_f^2} \right] \frac{(b/D)^{1.2}}{(1-b/D)} D^{0.201} \quad (3.39)$$

u_T yerine Q/ab konursa, D için aşağıdaki denklem elde edilir.

$$D = 0.0502 \left[\frac{Q \rho_f^2}{\mu \rho_p} \frac{(1-b/D)}{(a/D)(b/D)^{2.2}} (ft \text{ veya } m) \right]^{0.454} \quad (3.40)$$

ρ_f : Gaz yoğunluğu (lb/ft³ veya kg/m³)

3.2.4 Basınç Kaybı

Siklonun giriş ve çıkış noktaları arasındaki basınç kaybı (ΔP), aşağıdaki faktörlerden kaynaklanır:

1. Giriş borusundaki sürtünme kayıpları,
2. Siklonun silindirik kısmına girişteki ani genişlemeden dolayı meydana gelen kayıplar,
3. Siklonun iç duvarlarındaki sürtünme kayıpları,
4. Siklonun içindeki türbülansdan dolayı meydana gelen kinetik enerji kayıpları,
5. Çıkış borusuna girişte ani daralmadan dolayı meydana gelen kayıplar,
6. Giriş ve çıkış boruları arasındaki seviye farklarından dolayı meydana gelen statik kayıplar,
7. Çıkış borusundaki sürtünme kayıpları.

Bunlar arasında en önemlisi 4.sü olan kinetik enerji kayıplarıdır. Bu kayıplar, N_H olarak gösterilen "giriş hız kayıpları" (inlet velocity heads) cinsinden ifade edilir (Ertürk, 2004):

$$\Delta P = 0.00330 \rho_f' u_T^2 N_H \text{ (inch su sütunu)} \quad (3.41)$$

N_H : Basınç kaybı parametresi (Birimsiz)

Burada,

$$\rho_f' = \rho_f + c(\rho_p - \rho_f) \quad [lb/ft^3] \quad (3.42)$$

c : partikül hacmi/gaz hacmi

ΔP : "inch" olarak ifade edilen basınç kaybı veya

$$\Delta P = 5.12 \rho_f' u_t^2 N_H \text{ (cm su sütunu)} \quad (3.43)$$

Burada,

$$\rho_f' = \rho_f + c(\rho_p - \rho_f) \quad [gm/cm^3] \quad (3.44)$$

c : Partikül hacmi/gaz hacmi

ΔP : cm olarak ifade edilen basınç kaybı

Shepherd ve Lapple (1939), N_H için aşağıdaki ifadeyi bulmuşlardır:

$$N_H = 16 ab / D_e^2 = 16 K_a K_b / K_e^2 \text{ (Birimsiz)} \quad (3.45)$$

Siklonun işletme şartlarında basınç kaybının 25 cm veya 10 inch su sütununu geçmemesi gerekir. Fan veya blower için gerekli olan güç:

$$Güç = 0.0981 Q \Delta P \quad (3.46)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, Q= Debi (m³/san), ΔP ise cm su sütunu olarak ifade edilen basınç kaybıdır. Basınç kaybı, işletme maliyetini etkilediğinden dolayı dikkat edilmesi gereken önemli bir parametredir. Yüksek verimli siklonlar için yüksek bir giriş hızı gerekir fakat bu seferde basınç kaybı artmaktadır. Bu nedenle optimum bir verim ve limit değerlerde bir basınç kaybı sağlanmalıdır (Shepherd ve Lapple, 1940).

3.2.5 Tasarım Yöntemleri

Standart Boyutlar

En çok kullanılan standart siklon boyutları Tablo 3.2’ de verilmiştir. Bu boyutlardan birinin seçimi tasarımın başlangıcını teşkil eder. Aynı zamanda başka boyutlarla kıyas için standart olarak kullanılabilir. Boyutların seçiminde aşağıdaki faktörler etkili olmaktadır.

- a) Gaz debisi
- b) Sıcaklık
- c) Basınç
- d) Toz yükü
- e) Tozun boyut dağılımı
- f) Öngörülen verim

Optimum tasarım için her bir partikül çapı aralığına tekabül eden tutma verimini ifade eden bir modelin bulunması ve basınç kaybının (ΔP) hesaplanması gerekmektedir (Elcuman, 1993).

Siklonlarda vorteksin doğru şekilde boyutlandırması çok önemlidir. Giren karışım içindeki toz, vorteksin sağladığı santrifüj kuvvetin etkisi ile siklon duvarına çarpar ve gazdan ayrılır. Oluşturulan santrifüj kuvvetin gazdan tozu ayıracak büyüklükte olması gerekir (Cheremisinoff ve Bhatia, 1977).

Tablo 3.2 Siklon tasarım parametreleri (Ertürk, 2004)

Parametre	Stairmand	Swift	Lapple	Swift	Peterson & Whitby
D : Gövde çapı	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
a : Giriş yüksekliği	0.5	0.44	0.5	0.5	0.583
b : Giriş genişliği	0.2	0.21	0.25	0.25	0.208
S : Çıkış uzunluğu	0.5	0.5	0.625	0.6	0.583
D _e : Çıkış çapı	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
h: Silindir yüksekliği	1.5	1.4	2.0	1.75	1.33
H: Toplam yükseklik	4.0	3.9	4.0	3.75	3.17
B: Toz çıkışı çapı	0.375	0.4	0.25	0.4	0.5
L: Vorteks uzunluğu	2.48	2.04	2.30	2.30	2.32
K:	551	699	403	382	324
N _H :	6.40	9.24	8.0	8.0	7.76
K/N _H :	86.1	75.7	50.4	47.7	44.1
K/N _H – Surf:	23.5	21.2	13.3	13.1	13.8

Tasarımda esas alınan boyutlar içinde, K verim parametresi (Denklem 3.35), N_H ise basınç kaybı parametresidir (Denklem 3.45). Verim arttıkça ΔP de arttığından, optimizasyon parametresi K/N_H' dir. Tablo 3.2' deki değerler kıyaslandığında, "Swift" tasarımının en yüksek verime haiz olduğu, "Stairmand" tasarımının ise bu kritere göre optimum olduğu görülmektedir.

Daha düşük verimli siklonlar, daha az toplam malzeme ihtiva ettiklerinden dolayı, ilk maliyet (malzeme maliyeti) daha düşüktür. Bu toplam yüzey alanını ifade eden bir parametre ile gösterilebilir:

$$Surf. = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_e^2) + \pi D_e S + \pi D h + \frac{\pi}{2} (D + B) \sqrt{(H - h)^2 + (D - B)^2} / 4 \quad (3.47)$$

Denklem (3.47) aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir (Ertürk, 2004):

$$\text{Toplam Yüzey Alan} = \sum D^2 (\text{Surf}),$$

$$Surf. = \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \left(\frac{D_e}{D} \right)^2 + \left(\frac{D_e}{D} \right) \left(\frac{S}{D} \right) + \frac{h}{D} + \left(\frac{1}{2} + \frac{B}{2D} \right) \sqrt{\left(\frac{H}{D} - \frac{h}{D} \right)^2 + \left(\frac{1}{2} - \frac{B}{2D} \right)^2} \quad (3.48)$$

Siklonlar için toplam optimizasyon parametresi, K/N_H (Surf) olarak ifade edilebilir. Tablo 3.2' deki değerler mukayese edildiğinde, toplam optimizasyon parametresi açısından yine "Stairmand" tasarımının en yüksek değerde olduğu görülebilir.

Siklon dizaynında birden fazla parametre etkili olmaktadır. Bunlar ;

1. Toz boyut dağılımı, partikül yoğunluğu, partikül şekli, aglomerasyon gibi fiziksel ve kimyasal özellikler
2. Gaz akımının sıcaklığı, basıncı, yoğunluğu, nemi
3. Toz konsantrasyonu, müsaade edilebilir basınç kaybı, gaz akımı gibi proses değişkenleri
4. Sıcaklık, basınç, siklon inşaat malzemesi ve alan gibi yapısal sınırlandırmalar siklon dizaynında göz önüne alınması gereken parametrelerdir.

Siklonlardaki tutma verimi sıcaklık ve basınç ile değişmektedir. Bu parametrelerin artırılması özellikle $10\ \mu\text{m}$ ' dan küçük partiküllerin tutma verimini etkilemektedir. Basınç arttıkça tutma verimi artarken, sıcaklığın artması ile verim azalmaktadır. Sıcaklığın artması viskozite ve yoğunluğu dolayısıyla sürüklenme kuvvetini (drag force) etkilediğinden dolayı verim düşer.

Siklon verimi üzerine etki eden parametrelerin araştırılması amacı ile yapılan bazı çalışmalarda giriş hızı ve vorteks incelenmiştir. Giriş hızının artırılması ile verimin arttığı görülmüş, vorteksin uzunluğu değişiminin verimi çok düşük oranda etkilediği fakat vorteks çapının değişiminin verime önemli etkisinin olduğu tespit edilmiştir (Shin vd., 2005).

Tablo 3.3 Siklondaki fiziksel değişimlerin performansa etkileri (Cooper ve Alley, 2002)

Siklon Boyutlarının Değişimi	Performansa Etkisi		Maliyete Etkisi
	Basınç Kaybı	Verim	
Siklon çapının arttırılması	Azalır	Azalır	Artar
Siklon silindirik kısmının uzunluğunun arttırılması	Biraz azalır	Artar	Artar
Giriş alanının arttırılması (Hacim sabit)	Azalır	Azalır	-
Giriş alanının arttırılması (Hız sabit)	Artar	Azalır	Azalır
Siklon konik bölümünün uzunluğunun arttırılması	Biraz azalır	Artar	Artar
Toz çıkış ağzının çapının arttırılması	Biraz azalır	Artar/Azalır	-
Toz çıkış ağzının çapının azaltılması	Biraz artar	Artar/Azalır	-
Gaz çıkış ağzının çapının arttırılması	Azalır	Azalır	Artar
Gaz Değişimi			
Hızın arttırılması	Artar	Artar	Kuruluş maliyeti düşer, işletme maliyeti artar
Yoğunluğun arttırılması	Artar	-	Biraz artar
Viskozitenin arttırılması	-	Azalır	-
Sıcaklığın arttırılması (Hız Sabit)	Azalır	Azalır	-
Tozun Değişimi			
Spesifik gravitenin arttırılması	-	Artar	-
Partikül büyüklüğünün arttırılması	-	Artar	-
Yükün arttırılması	-	Artar	-

3.2.6 Siklonlarda Toplam Verim

3.2.6.1 Partikül Dağılımları

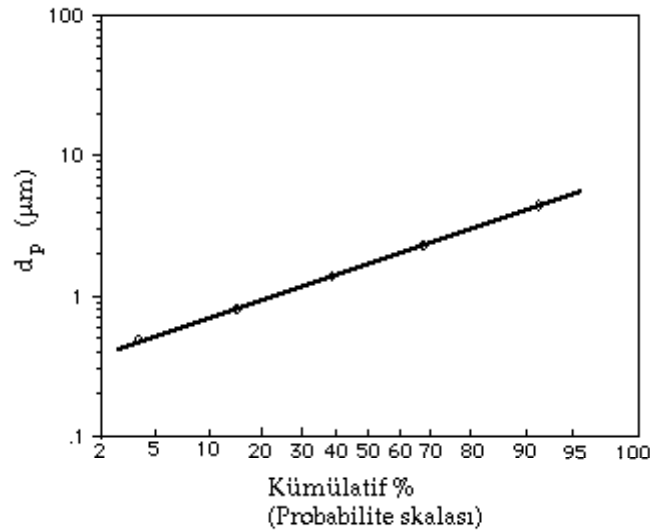
Herhangi bir partikül tutma cihazının boyutlandırılması ve verim hesabı yapılırken, tutulacak olan partiküllerin ebat dağılımını (size distribution) bilmek gerekmektedir. Partikül ebat dağılımları sayısal veya kütleli olarak çıkarılabilir. Bu işlem, dağılımın belirlenmesi için yapılan deneysel çalışmaların sayımı veya tartıma dayalı olmasına bağlıdır. Partikül dağılımları ile ilgili datalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Belirli ebat aralığında bulunan partiküllerin sayısı veya toplam kütlesi olarak

2. Belirli bir ebatan daha küçük (veya daha büyük) olan toplam partikül sayısı (veya kütleli olarak)

Partiküllerin ebat dağılımları toplam sayının ve kütlenin belirli yüzdeleri şeklinde ifade edilebilir. Bu ifade tarzı partiküller hakkında daha rahat yorum yapılmasına ve hesaplamalarda çeşitli kolaylıklara neden olmaktadır. Bu ifade histogram şeklinde ebat dağılımı çıkarılmış partiküller için histogramın toplam alanı % 100 kabul edilerek çıkarılabilir. Çeşitli çap aralıkları için yüzde dağılımı, o aralığa ait histogram alanı hesap edilerek bulunur. Partikül ebat dağılımının % olarak ifade edilmiş şekline “Kümülatif Dağılım” adı verilmektedir.

Bir başka yönden bacadan çıkan partikül bulutunun hareketinin, literatürde çeşitli endüstriler için çıkarılmış olan normal veya Gauss dispersiyon modellerine uyduğu kabul edilmektedir. Bu modellere ait dağılım eğrileri “Çan eğrisi” şeklindedir. Kullanım kolaylığı bakımından, partikül çapının ve buna karşılık yüzde dağılımlarının logaritmik değerleri, logaritmik ihtimal kağıdına çizilirse neticede bir doğru oluşur. Bu doğrunun dağılımına “Logaritmik dağılım veya log-normal dağılım” adı verilir. Son zamanlarda endüstriler için, partiküllerin log-normal dağılımına uydukları kabul edilmekte ve böylelikle partiküllere ait ebat dağılımı logaritmik ihtimal kağıdına çizilecek doğru aracılığı ile hızlıca belirlenebilmektedir (Elcuman,1993).



Şekil 3.6 Log-probabilite grafiğinde partikül dağılımı (Ertürk, 2004)

Partikül Ebatları

Partiküller optik veya elektron mikroskobu altında incelendiğinde, bilhassa katı toz ve füme partiküllerinin genellikle bazı kristal yapıları haricinde düzensiz bir yapıya sahip oldukları görülmektedir. Mist ve spreylere bulunan sıvı partiküller ise, büyük ebatlarda düzensizlikler görülmesine rağmen, genelde küre şeklindedir. Partiküllerin yoğunlukları ise $0.5-6.5 \text{ gm/cm}^3$ arasında değişebilir. Hava kirliliğinin yoğun olduğu şehirlerde ise genellikle $1.5-3.0 \text{ gm/cm}^3$ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Partikül “ebat” ları için aşağıdaki tanımlar yapılabilir:

- 1) **"Projected diameter"**- Mikroskobik bakış düzlemine paralel olarak uzanan partikül imajı (ön kesit alanı) ile aynı alana sahip olan bir dairenin çapıdır.
- 2) **"Eşdeğer çap"**- Partikül hacmine eşit olan bir kürenin çapıdır.
- 3) **"Aerodinamik çap"**- Partikül çökme hızı ile aynı hıza sahip olan birim yoğunluktaki (1 gm/cm^3) bir kürenin çapıdır.
- 4) **"Stokes çapı"**- Partikül çökme hızı ile aynı hıza ve aynı yoğunluğa sahip olan bir kürenin çapıdır (Ertürk, 2004).

3.2.6.2 Tane Dağılımları, Frekans ve Kümülatif Dağılım

Herhangi bir partikül tutma cihazının boyutlarını ve verimini hesaplarken, tutulacak olan partiküllerin ebat dağılımını (size distribution) bilmek gerekmektedir. Bu maksatla kullanılan dağılımlardan biri partiküllerin “kütle dağılımı”dır. Bu dağılım deneysel yollarla tayin edilir.

Partikül dağılımları ile ilgili datalar aşağıdaki şekillerde verilebilir:

- 1) Belirli ebat aralığında bulunan partiküllerin "sayısı" veya toplam "kütlesi" olarak (Bu veriler grafik olarak histogram şeklinde gösterilebilir)
- 2) Belirli bir ebattan "daha küçük" (veya daha büyük) olan toplam partikül sayısı (veya kütlesi) olarak.

Frekans ve Kümülatif Fraksiyonlar

Partikül sayılarını veya kütlelerini gösteren veriler:

- a) Fraksiyonel veya frekans değerlerine yada
- b) Kümülatif değerlere dönüştürülebilirler.

n_i = i.' inci arada bulunan partiküller olsun. Tüm ebatların toplam partikül sayısı, $\sum n_i$ olarak ifade edilebilir. i aralığındaki (grade) fraksiyonel veya frekans değerleri (Licht, 1980);

$$f_i = n_i / \sum n_i$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada; $\sum f_i = 1$ ' dir.

Kümülatif değerler:

$$F_j = \frac{\sum_{i=1}^{j} n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}, \quad F_j = \sum_{i=1}^j f_i \quad \text{ve} \quad F_n = 1 \quad (3.49)$$

şeklinde ifade edilebilir (Wark vd., 1998). Burada $F_j = j$ ' inci aralıkta en büyük ebattan daha küçük partiküllerin fraksiyonudur ve "kümülatiften-küçük fraksiyon" olarak tanımlanır. Buna benzer şekilde "kümülatiften-büyük" fraksiyon da tanımlanabilir.

Partikül sayımı verileri frekans değerleri şeklinde tekrar hesaplanarak, her bir aralığın orta noktasını temsil eden partikül ebadına karşı noktalanabilir (Ertürk, 2004).

F değerleri de hesaplanarak her bir ebat aralığının üst sınır değerini temsil eden partikül ebadına karşı noktalanabilir. Bu noktaların birleşmesinden meydana gelen eğrinin üzerinde a ve b noktaları alınırsa, bu d_{pa} ile d_{pb} arasındaki partikül ebatlarının aralığını temsil eder. F değerleri arasındaki fark ($F_a - F_b$) bu aralık için f değerine eşdeğerdir. Bu hesap F-eğrisinin eğimi olarak da aşağıdaki şekilde gösterilebilir(Calvert ve Englund, 1984):

$$f_{a-b} = F_a - F_b$$

$$\int_{Fb}^{Fa} dF = \int_{d_{pb}}^{d_{pa}} dF / dd_p \times dd_p = \int_{d_{pb}}^{d_{pa}} p \, dd_p \quad (3.50)$$

F-eğrisi aynı zamanda sayısal medyan partikül ebatının [number median particle size (NMD)] da kolaylıkla bulunmasını sağlar. Medyan partikül ebatı, $F = 0.50$ ' deki d_p değeridir. Yani sayısal olarak partiküllerin yarısı bu ebattan daha büyük yarısı daha küçüktür.

3.3 Filtrasyon

Filtrasyon, birçok bireysel toplama yüzeylerinin (target) gözenekli bir yapıda bir dizi (array) oluşturarak meydana getirdiği ortamdan gaz-partikül karışımını geçirerek partiküllerin tutulması işlemidir (Elcuman,1993).

Toplama yüzeylerinin oluşturduğu dizi 3 ana tipte olabilir:

(a) Bir hat üzerine gevşek bir biçimde doldurulan bireysel elyaflar (fiber),

- (b) Sabit, hareketli veya akışkan yatakta bulunan taneli malzeme (kum, çakıl, seramik),
- (c) Örgü veya baskı ile torba şeklinde kullanılan kumaşlar (torbalı filtreler).

Filtrasyonda etkili olan aerodinamik tutma mekanizmaları (Elcuman,1993):

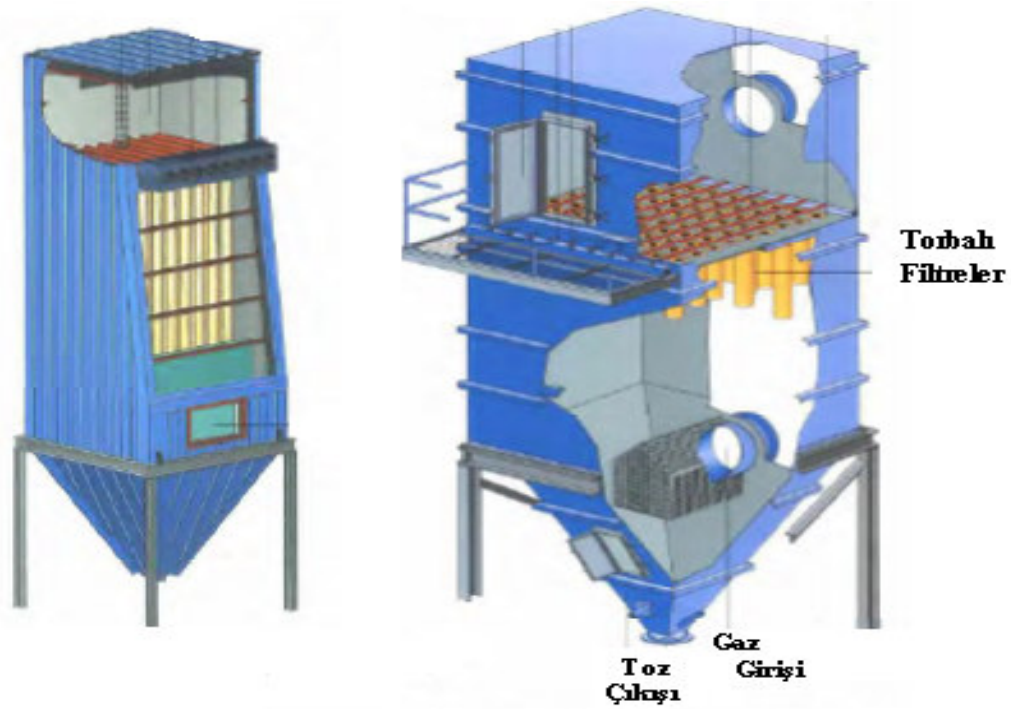
- (i) Doğrudan çarpma,
- (ii) Atalet kuvveti ile çarpma,
- (iii) Diffüzyon (Brownian hareketler),
- (iv) Elektrostatik kuvvetler' dir.

3.3.1 Torbalı Filtreler

Torbalı filtreler genellikle yaklaşık 30-40 cm çapında ve 5-10 m boyunda silindirik tüpler şeklindedir. Bunlar dikey ve birbirlerine paralel olarak “torba odalarına” yerleştirilir (Ercümen,1995). Prensip olarak, kirli gaz bir filtre malzemesinden geçirilir. Bir taraftan temiz gaz çıkarken diğer tarafta malzemenin yüzeyi üzerinde partiküller tutulmuş olmaktadır. Periyodik olarak mekanik veya ters-akımlı hava ile geri temizleme yapılarak filtre yüzeyindeki partiküller giderilir (Elcuman,1993). Torba malzemesi (elyaf) temizleme işlemi esnasındaki gerilmelere dayanıklı olmalıdır. Torbalı filtreler genellikle proses koşullarının filtre materyaline ve filtrasyon sistemine zarar vermediği yüksek verim istenen koşullarda kullanılır. Bunların kullanımını kısıtlayan şartlar 250-300 °C’ den büyük, filtreye zarar veren veya ekonomik ömrünü azaltan sıcaklıklar, kumaşa zarar veren veya partikül içerikleri ve filtre temizleme mekanizmasını olumsuz etkileyen gaz ve partikül özellikleridir (Ercümen,1995). Filtrasyonda kumaşların kullanılması bir başka sınırlama daha getirmektedir. Torbalı filtrelerdeki işletme sıcaklığı elyafın özelliklerine göre belli bir değeri aşmamalıdır. Birçok durumda bu, gaz karışımının filtre odasına girmeden önce soğutulmasını gerektirir (ön soğutma sistemi) (Davies,1952).

Tablo 3.4 Çeşitli malzemeler ve uygulama alanları için filtrasyon hızları (H/K) ve rezistans parametresi (R_p) (Ertürk, 2004)

Uygulama	Malzeme	Temizleme	H/K(m/dak.)	R_p (N-dak/g-m)
Alumina	Poliester	M	0.67	0.033
Aluminyum	Yün , naylon	M	0.30	0.033
Asbest	Yün , naylon	M	0.84	0.364
CaSO ₄	Poliester		2.28	0.067
Karbon siyahı	Camyünü , Teflon, Nomex Akrilik	T ,M	0.34 - 0.49	3.67 - 9.35
Çimento	Yun,camyünü, akirlik,poliester	T,M	0.46 - 0.64	2 - 11.7
Uçucu kül(kömür)	Camyünü, Teflon	T, M , J	0.58 - 1.8	1.17 - 2.51
Demiroksit	Nomex	J	0.64	20.17
Demiroksit	Camyünü	T	0.58	11.0



Şekil 3.7 Torbalı filtre (<http://www.wapc.com/PDF/FabricFilters.pdf>)

3.3.2 Kumaş Seçimi

Gazların filtrasyonunda kullanılan kumaşların üretiminde pamuk, yün, sentetik veya bunların harmanları kullanılabilir. En uygun filtre kumaşının seçiminde yol göstermek amacıyla aşağıdaki tablolar verilmiştir.

Tablo 3.5.a Fiziksel özellikler (Fabrika İşletme Notları, 2004)

Malzeme	Dayanıklılık				
	Mineral asit	Organik asit	Alkaliler	Oksidant	Çözücüler
Poliester	İ.	Z	O.	İ.	İ.
Akrilik	İ.	İ.	O.-İ.	İ.	Ç.İ.
Naylon	O-Z	O-Z	İ.	O.	Ç.İ.
Polipropilen	Ç.İ.	Ç.İ.	Ç.İ.	İ.	İ.
Yün	O.	O.	Z.	Z.	O.
Pamuk	O.	O.	Z.	Z.	O.

Tablo 3.5.b Kimyasal özellikler (Fabrika İşletme Notları,2004)

Malzeme	Sıcaklık direnci				Aşınma	Silkeleme	Elastikiyet	Nem absorpsiyonu
	T.°C	Max. T.°C	Kuru	Nemli				
Poliester	150	170	Ç.İ.	O.	Ç.İ.	Ç.İ.	Ç.İ.	0,4
Akrilik	115	135	İ.	İ.	İ.	Ç.İ.	Ç.İ.	1-4
Naylon	80	105	İ.	İ.	Ç.İ.	İ.	Ç.İ.	1,5
Polipropilen	95	100	İ.	İ.	O.	O.	İ.	0,1
Yün	95	100	İ.	İ.	İ.	İ.	İ.	17
Pamuk	80	85	İ.	O.	İ.	Ç.İ.	Ç.İ.	8

Aşağıdaki Tablo 3.6' da sistem ve kumaş seçimine yardımcı olmak üzere bir yol gösterme mahiyetinde verilmiştir.

Tablo 3.6 Filtre tipleri ve özellikleri (Fabrika İşletme Notları,2004).

Toz Tipi	Filtreleme Hızı(m/dak)	Filtreleme Sistemi	Kumaş Tipi
3 mikrondan ince toz, yapışkan, karbon siyahı, duman, süt tozu, apoksi reçine, kağıt aklama, kil, kolalama işlemi zerrelere, boyalar	0.9-1.5	Jet	İğneli keçeden filtre torbaları
3-10 mikron büyüklüğündeki alüminyum, kil, kömür, kaya mamulleri, kireç, çimento, alçı, dökümhane kumu vs.	1.8-2.5	Jet/Mekanik	Dokunmuş iğnelenmiş, yapışkan toz için torba
10 mikrondan büyük, un, tahıl, yem, kum, tütün, perlit, amiyant vs	2.7-5.0	Jet/Mekanik	Sentetik dokuma

* Ç.İ : Çok iyi İ. : İyi O. : Orta Z. : Zayıf

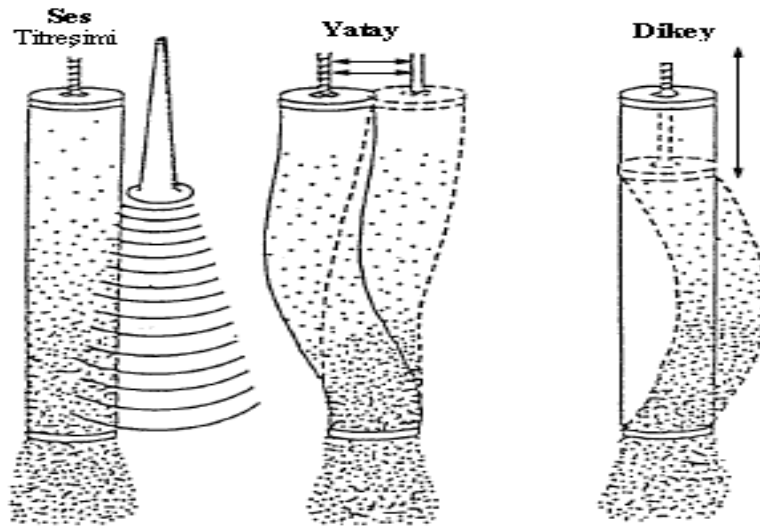
3.3.3 Torbalı Filtrelerin Temizlenmesi

Torbalı filtreleri en büyük dezavantajı sık temizlenme ihtiyaçlarıdır. Filtreler başlıca üç şekilde temizlenir.

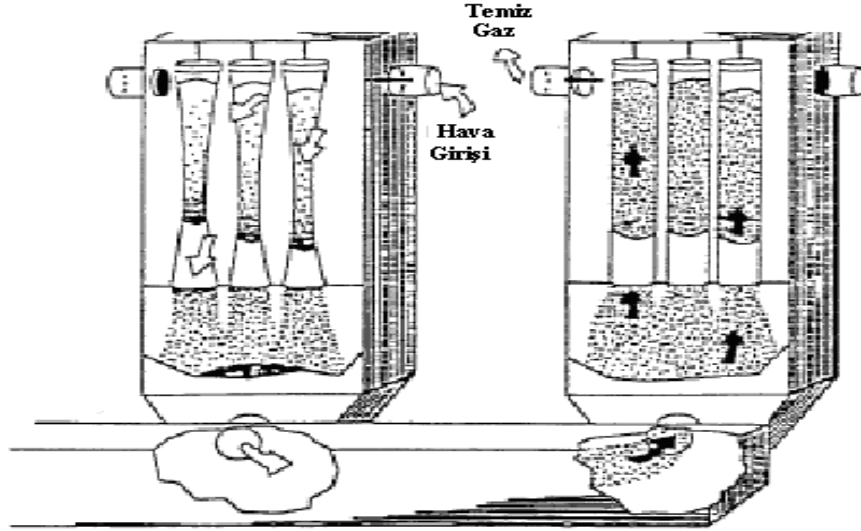
Tablo 3.7 Torbalı filtrelerin temizleme sistemi seçimi (Fabrika İşletme Notları, 2004)

Temizleme sistemi	Ağırlık (g/m ²)	Hava geçirgenliği (lt/dm ² .dak at 20 mm HG)
El ile silkeleme	250-300	400-650
Periodik silkeleme ve çırpma	300-400	400-600
Sarsma + düşük basınçlı ters jetle temizleme	300-500	250-400
Alçak basınçlı ters jet temizleme	350-500	150-400
7 atmosfere kadar yüksek basınçlı ters jetle temizleme	500-650	50-150

1) Mekanik titreşim : Ana prensip olarak torba yüzeyinde toplanmış olan tozların, torbaya mekanik bir titreşim verilmesiyle giderilmesidir. Bu sistem küçük ebatlı filtreler için uygundur. Torbalarda titreşim genellikle bir motor vasıtası ile verilir. Motorun çevirdiği mil torbalara bağlıdır. Motorun kısa periyotlu ileri geri hareketi sonucunda temizleme işlemi gerçekleşir. Temizlemenin mekanik yolla yapılacağı tesislerde, filtre hızı 0.6-1 m/sn alınır. Temizleme esnasında temizlenen torba odası devre dışı kalır (Elcuman, 1993).

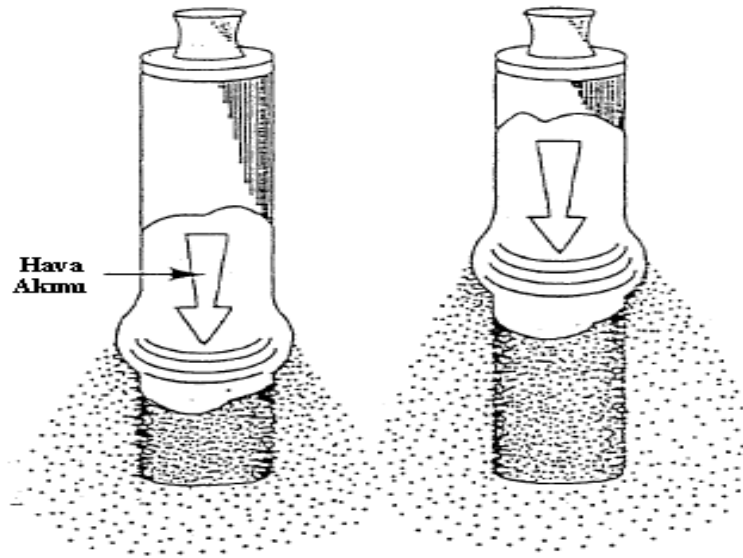
**Şekil 3.8 Mekanik titreşimle temizleme metodu (E.P.A., 1997)**

2) Ters hava akımı : Temizleme için odaya gaz girişi kesilir, ters yönde düşük basınçlı bir hava akımı verilir. Bu tür filtrelerde filtrasyon hızı 2-4 m/dak., torbaların boyutu 6-7 m ve çapları 20-30 cm alınır. Temizleme için verilecek hava ayrı bir fan vasıtası ile bacadan alınarak odaya verilir.



Şekil 3.9 Ters hava akımı ile temizleme metodu (E.P.A., 1997)

3) Jet akımı : Bir ventüri vasıtası ile veya direkt olarak torbalara yukarıdan aşağıya doğru jet bir akım verilir. Verilen hava çok yüksek basınçlıdır (60-120 psi). Bu hava torbadan aşağıya doğru inen bir dalga hareketi meydana getirir. Bu tür temizleme sistemi filtrasyon hızı yüksek olan filtrelerde uygulanır. Temizleme süresi diğer iki sisteme göre daha kısadır. Ayrıca temizlenen odanın devre dışı kalmasına gerek yoktur. Jet akımlı temizleme yapılan filtrelerde torbalar alttan kapalıdır ve filtreye giren tozlar torbaların dış yüzeyinde tutulur (Elcuman,1993).



Şekil 3.10 Jet hava akımı ile temizleme metodu (E.P.A., 1997)

4. ERDEMİR FABRİKASI SİNER ÜNİTESİ GAZ TEMİZLEME VE TOZ TOPLAMA TESİSİ

Siner Gaz Temizleme ve Siner Tozu Geri Kazanma Tesisleri; OP1, OP2 ve OP3 Toz Toplama Sistemleri 1982, Kok Kırma-Eleme Tesisi ve Kok Tozu Toplama Sistemi ise 1984 yılında yapılmıştır.

Siner Gaz Temizleme ve Siner Tozu Geri Kazanma Tesisleri, Kok Kırma-Eleme, OP1, OP2 ve OP3 Toz Toplama Sistemlerinden oluşur. Siner Fabrikasının çeşitli yerlerinden çıkan tozlu gazlar bu sistemlerde toplanırken, iri taneli katı maddeler siklonlarda, ince taneli olanlar ise torba filtrelerde tutulur. Tozundan arındırılmış gaz atmosfere verilir, tozlar ise sisteme alınarak değerlendirilir.

Siner Fabrikası Kok Kırma-Eleme Sisteminde 220 torbalı ve 4 kompartmandan oluşan, 365 m² filtreleme alanına sahip kok tozu toplama sistemi mevcuttur. 75 KW gücündeki motor fan vasıtası ile dakikada 700 m³ tozlu havayı emerek kompartmanlara iletir. Kompartmanlara 10 gr/Nm³ toz miktarı ile giren hava 0,05 gr/Nm³ toz miktarı ile çıkar (Fabrika İşletme Notları, 2004).

Siner makinasının dönüş kısmından, sıcak, soğuk ve toz eleklerden, dairesel soğutucudan, mamül sinter taşıyan bantların dönüş kısmından dakikada 8.200 m³ hava emen 1728 adet torbalı, 6 kompartmanlı ve 4320 m² filtreleme alanına sahip OP2 torbalı filtre toz toplama sistemi mevcuttur. Kompartmanlara 30 gr/Nm³ toz miktarı ile giren hava 0,03 gr/Nm³ toz miktarı ile çıkar. OP2 toz silosuna toplanan toz buradan ana toz silosuna gider.

Tablo 4.1 Siner tarafı toz toplama bölümü (Fabrika İşletme Notları, 2004)

Kapasite	8200 m ³ /dak
Toz Yoğunluğu Giriş	30 gr/m ³
Toz Yoğunluğu Çıkış	0.03 gr/m ³

Sinterleşme ham karışım içindeki kok tozunun yanarak meydana getirdiği ergimelerle olur. Kok tozunun tutuşturulması kok gazı ile sağlanır. Gerekli hava sinter ana fanı tarafından emilir. Emilen 16.000 m³/dak. Hava, kasalar ve ana gaz borusu vasıtasıyla elektro filtreye gelir. Makine altından emilen tozlu hava içindeki iri partiküller ve elektro filtre içinde tutulan tozlar hacim genişlemesi nedeniyle aşağıya düşer ve chain konveyörler vasıtası ile OP3 toz silosuna gelir. Temiz hava baca vasıtası ile atılır.

OP3 toz toplama sistemi 180 torbalı ve 2 kompartmandan oluşan 540 m² filtreleme alanına sahiptir. Sistem, sinter makinesinin tahrik tarafından dakikada 900 m³ tozlu havayı emerek kompartmanlara verir. Kompartmanlara 10 gr/Nm³ toz miktarı ile giren hava 0,03gr/Nm³ toz miktarı ile çıkar. Toplanan tozlar chain konveyörlerle taşınarak elevatör vasıtası ile toz silosuna verilir. Toz silosunda biriken tozlar tekrar sisteme verilir.

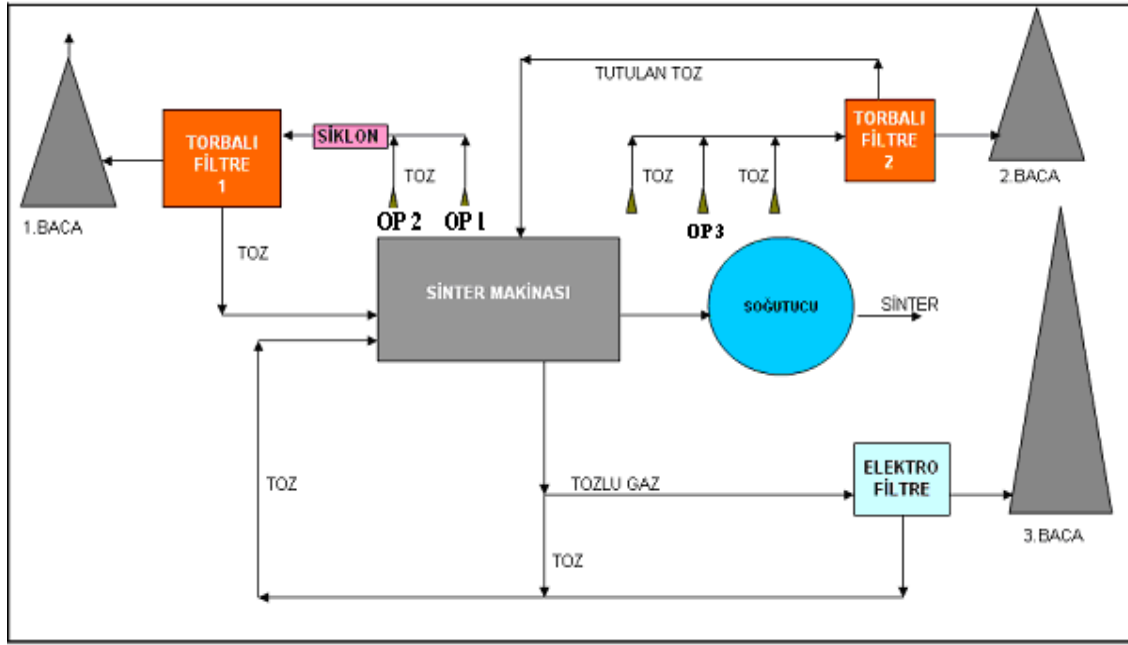
Tablo 4.2 Cevher tarafı toz toplama bölümü (Fabrika İşletme Notları, 2004)

Kapasite	900 m ³ /dak
Toz Yoğunluğu Giriş	10 gr/m ³
Toz Yoğunluğu Çıkış	0.03 gr/m ³

OP2 ve OP3 toz toplama sistemlerindeki torba filtreler basıncılı hava sağlayan ve bunların şoklanarak biriken tozların chain konveyörlere aktarımını sağlayan OP2 toz toplama sisteminin parçası olan OP1 sisteminde bulunan 3 adet kompresör 625 Nm³/saat ve 7 kg/cm² basıncılı hava sağlarlar.

Sinter bacası tüm yıl çalışmaktadır. Sinter OP1 ve OP2 Toz Toplama Sistemleri' nin bağlı bulunduğu bacanın yüksekliği 22 m ve çapı 3.5 m, OP3 Toz Toplama Sistemi' nin bağlı olduğu bacanın yüksekliği 12 m ve çapı ise 1.15 m' dir.

Sinter Fabrikası toz toplama sistemleri; sinterleşme, kırma, eleme, taşıma ve transfer noktalarında oluşan tozların toplanıp tutularak tekrar sisteme verilmesini sağlayan ünitelerdir. Sinter fabrikasının çeşitli yerlerinden toplanan tozlu gazlar bu sisteme gönderilmektedir. İri taneli katı maddeler siklonlarda, ince taneli olanlar ise torba filtrelerde tutulur. Tozundan arındırılmış gaz atmosfere verilirken, tozlar sisteme alınarak değerlendirilir. Sistemde kullanılan siklona gelen ana giriş borusu giriş noktasında 2' ye ayrılmaktadır. Sistemde 2 paralel ve 3 seri olmak üzere 6 adet siklon mevcuttur. Siklon çıkışında hat tekrar birleşerek tozlar tek bir boru ile torbalı filtreye giriş yapar (Fabrika İşletme Notları, 2004).



Şekil 4.1 Sinter ünitesi gaz temizleme ve toz geri kazanma tesisi akım şeması



Şekil 4.2 Sinter ünitesi siklonları



Şekil 4.3 Siklon sistemine bağlı çıkış bacası



Şekil 4.4 Siklon sistemi giriş hattı

4.1 Tesisin Teknik Özellikleri

1) Sinter Çıkışı Toz Toplama Sistemi :

Kapasite	: 8200 m ³ /dak.
İşletme Sıcaklığı	: 80 °C (60 – 100 °C)
Tutulmuş Toz Tipi	: Sinter tozu
Toz İçeriği	: Fe ₂ O ₃ , CaO, K ₂ O, SiO ₂ , Na ₂ O, Kireç taşı, kok, dolomit
Tozun Boyut Dağılımı	: 400 µm => %1.6 (weight)
	150-400 µm => %19
	100-150 µm => %40.6
	<100 µm => %38.8
Özgül Ağırlık	: 0.7-1.7 t/m ³

2) Siklon :

Boyutları	: Ø 2972 * 5800 mm (Silindirik yükseklik)
Konik Çıkış	: 30 °
Basınç Kaybı	: 100 mm H ₂ O (80 °C’de)
Siklon Malzemesi	: Karbonlu çelik

3) Torbalı Filtre

Tip	: Torbalı filtre
Toplam Etkin Filtre Alanı	: 4320 m ²
Basınç Kaybı	: 180 mm H ₂ O (80 °C’de)
Gaz Filtrasyon Hızı	: *Tüm kompartımanlar çalışırken; 0.0316 m/dak. *Bir kompartıman temizlenirken; 0.0380 m/ dak.
Kompartıman Sayısı	: 6 Adet
Bir Kompartımandaki Torbalı Filtre Sayısı	: 288 Adet
Toplam Torbalı Filtre Sayısı	: 1728 Adet

4) Torbalı Filtre Kumaşı :

Boyutları	: Ø 152 * 5250 mm
Malzeme	: Polyester
Malzeme Tipi	: T553TSA
Spesifik Ağırlık	: 1.38 kg/m ²
Ağırlık	: 500 kg/ m ²
Kalınlık	: 1.5 – 2.5 mm
Dış Yüzey	: Perdahlı

Çalışma Sıcaklığı : 130 °C (Devamlı)

Hava Geçirgenliği : 360 lt/ dm².dak

Çekme Gerilme Mukavemeti (enine) %10 uzama : 5,5 kg/cm

Çekme Gerilme Mukavemeti (boyuna) %10 uzama : 8,5 kg/cm

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Siklon tasarımı ilk olarak; tasarıma uygun modeli saptayabilmek için siklon giriş ve çıkışında toz ölçümleri yapılmış ve siklonların işletme verimi bulunmuştur. Ölçüm için Erdemir Çevre Başkanlığı' na ait Alman marka bir toz ölçüm cihazı kullanılmıştır. Uzman yardımı ile yapılan ölçümlerin tesisin tam kapasite çalışma şartlarında ve sinter gazının uniform olarak geçtiği noktalardan yapılmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca siklonların tuttuğu toz boyutunu belirleyebilmek için siklon altı toz toplama araçlarından numune alınmış ve elek analizi ile tozların boyut dağılımı bulunmuştur. Kısmi verimin ve daha sonra siklonun toplam tutma veriminin bulunabilmesi için partikül boyut dağılımının bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 5.1 Toz ölçümlerinde kullanılmış olan cihaz ve ekipman (Fabrika İşletme Notları, 2004)

Sinter Ünitesi için optimum siklon çapının ve sayısının bulunması bu çalışmanın amacını oluşturduğundan, farklı siklon çapları ve sayıları için hesaplamalar yapılmıştır. Aynı çap ve siklon sayısı için tesis şartları ve elek analizi boyut dağılımları kullanılarak elde edilen verimlerin mukayesesi sonuç kısmında ayrıca belirtilmiştir. Çalışmada siklon sistemlerinin paralel oldukları düşünülmüş ve değerlendirmeler bu şekilde yapılmıştır. Aşağıda Tablo 5.1 ve Tablo 5.2' de siklon giriş ve çıkışında yapılan ölçüm şartları ve sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.1 Siklon girişi toz ölçüm parametreleri

Tarih:26.07.2005/10:30

Ölçülecek Parametreler	Siklon Girişi 1	Siklon Girişi 2	Siklon Girişi 3	Ortalama
Baca Yüksekliği (m)	-	-	-	
Baca Çapı (m)	2,000	2,000	2,000	
Kesit Alan (m ²)	3,140	3,140	3,140	
Nozul No (mm)	7,0	7,0	7,0	
Gaz Sıcaklığı (°C)	48,000	50,000	50,000	49,333
Düzeltilme Faktörü(N.Ş.A)	0,850	0,845	0,845	
Gaz Hızı (m/sn)	23	24	23	23,020
Gaz Debisi (m ³ /h)	256600,800	265983,120	258070,320	260218,080
Gaz Debisi (Nm ³ /h)	218230,587	224809,262	218121,354	220387,068
Numune Alma Süresi (dakika)	8,0	8,0	8,0	8
Örnekleme Miktarı (litre)	471,0	259,0	257,0	329
Filtre İlk Tartım (gram)	2,9495	2,8848	2,8667	2,9003
Filtre Son Tartım (gram)	4,2252	5,2048	5,6677	5,0325
Tartım Farkları (gram)	1,2757	2,3200	2,801	2,1322
Toz Konsantrasyonu (mg/m ³)	2708,5	8957,5	10898,8	7521,6

Tablo 5.2 Siklon çıkışı toz ölçüm parametreleri

Tarih:27.07.2005/10:00

Ölçülecek Parametreler	Siklon Sonrası 1	Siklon Sonrası 2	Siklon Sonrası 3	Ortalama
Baca Yüksekliği (m)	-	-	-	
Baca Kesiti (kare)m	2,500	2,500	2,500	
Kesit Alan (m ²)	6,250	6,250	6,250	
Nozul No (mm)	7,0	7,0	7,0	
Gaz Sıcaklığı (°C)	72,700	68,000	69,000	69,900
Düzeltilme Faktörü(N.Ş.A)	0,790	0,801	0,798	
Gaz Hızı (m/sn)	23,8	22,2	22,3	22,790
Gaz Debisi (m ³ /h)	535500,000	500175,000	502650,000	512775,000
Gaz Debisi (Nm ³ /h)	422885,450	400433,358	401238,158	408185,655
Numune Alma Süresi (dakika)	8,0	8,0	8,0	8
Örnekleme Miktarı (litre)	319,0	325,3	321,5	321,9
Filtre İlk Tartım (gram)	3,0512	2,9213	2,8693	2,9472
Filtre Son Tartım (gram)	3,3736	3,0344	3,1720	3,1933
Tartım Farkı (gram)	0,3224	0,1131	0,3720	0,2961
Toz Konsantrasyonu (mg/m ³)	1010,7	347,7	1157,1	919,9

Toz konsantrasyonu ve toz tutma verimi hesabında kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir.

$$C = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (\text{mg/m}^3) \quad \text{Verim} = \frac{C_2 - C_1}{C_1} * 100$$

W_1 : Siklon girişi toz ağırlığı (mg)

W_2 : Siklon çıkışı toz ağırlığı (mg)

C_1 : Siklon girişi toz konsantrasyonu (mg/m³)

C_2 : Siklon çıkışı toz konsantrasyonu (mg/m^3)

V : Ölçüm sırasında geçen hava hacmi (m^3)

$$C_1 = \frac{5,0325 - 2,9003}{329} = 6480,9 \text{ mg/m}^3$$

$$C_2 = \frac{3,1933 - 0,2961}{321,9} = 919,9 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{Verim} = \frac{6480,9 - 919,9}{6480,9} \times 100 = 85,8 \% \text{ (İşletme verimi)}$$

5.1 Sinter Ünitesi Siklon Tasarımı

Siklon tasarımında, “Stairmand Tasarım Katsayıları” esas alınmış olup, öncelikle tesisin işletmecilerinden elde edilen, siklon sisteminin dizaynında kullanılmış partikül boyutlarına göre verim hesaplanmıştır. Aşağıda Tablo 5.3’ te toz boyutu dağılım değerleri verilmiştir.

Tablo 5.3 Erdemir sinter ünitesi siklon tasarımında kullanılan boyutlar (tesisten alınan boyut dağılım değerleri) (Fabrika İşletme Notları, 2004)

Toz Boyutu (μm)	Değer (%)	Kümülatif Değer (%)	Toz Boyutu Ort. (μm)
> 400 (μm)	1.6	1.6	200
150-400 (μm)	19	20.6	275
100-150 (μm)	40.6	61.2	125
< 100 (μm)	38.8	100.00	50
TOPLAM:	100.00		

Siklon tasarımında; öncelikle farklı debi değerleri yani gelen debinin 2, 3, 4 ve 6’ ya bölünmesi durumları için optimum çaplar bulunarak verim değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen sonuçlar ve tesiste kullanılan siklon çapı da göz önüne alınarak optimum çap değerininin 2.9 - 4 m arasında bir değer olabileceği görülmüştür. Bu nedenle bu aralıktaki farklı çapların farklı debi değerleri için sağladığı verimler bulunmuştur. En son olarak ise elek analizi sonucunda elde edilen değerler için verim hesaplanmıştır. Elek analizine dayanarak yapılan hesaplarda hassasiyeti artırmak amacı ile daha küçük toz aralıkları seçilmiş ve Ekler bölümünde bunlara ait hesaplar ayrıntılı olarak verilmiştir.

5.1.1 Tesisteki İşletme Değerleri Kullanılarak Yapılan Verim Hesaplamaları (Q Değişken)

$$Q = V \times A \quad (5.1)$$

Q : Debi (m^3/sn veya ft^3/sn)

V: Gaz akış hızı (m/sn)

A: Gaz akımının geçtiği kesit alanı (m² veya ft²)

Tesis için Q debisi;

$$Q = 23 \times \pi \times 1^2 = 72,3 \text{ m}^3/\text{sn} = 260,28 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{2551,3 \text{ ft}^3/\text{sn}}$$

ρ_p : Partikül yoğunluğu (kg/m³ veya lb/ft³)

$$\rho_p = 0,7-1,7 \text{ t/m}^3 = 0,7-1,7 \text{ g/cm}^3 = 700-1700 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{43,7-106,1 \text{ lb/ft}^3}$$

$$\rho_{kbul} = 1200 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{75 \text{ lb/ft}^3}$$

$$\mu = 0.0234 + 0.0001464 T \text{ (} ^\circ K \text{)} \quad (5.2)$$

μ : Viskozite (kg/m-sa veya lb/ft-sn)

T: Sıcaklık (°C veya °K)

T= 50 °C = **323 °K** için;

$$\mu = 0,0234 + 0,0001464 T (323 \text{ } ^\circ K) = 0,07 \text{ kg/m-sa} = \mathbf{1,31 \cdot 10^{-5} \text{ lb/ft-sn}}$$

$$\rho_f = \frac{P M}{R T} \text{ (kg / m}^3 \text{ veya lb / ft}^3 \text{)} \quad (5.3)$$

ρ_f : Gazın yoğunluğu (hava) (kg/m³ veya lb/ft³)

P: Atmosfer basıncı (atm.)

R: Sabit (0.082)

T: Sıcaklık (°K)

$$\rho_f = 1 \times 29 / 0,082 \times 323 = 1,09 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{0,07 \text{ lb/ft}^3} \text{ (T= 50 } ^\circ \text{C için gaz yoğunluğu)}$$

$$D_{opt.} = 0.0502 \left[\frac{Q \rho_f^2}{\mu \rho_p} \frac{(1-b/D)}{(a/D)(b/D)^{2.2}} \right]^{0.454} \text{ (m veya ft)} \quad (5.4)$$

D_{opt.}: Optimum siklon çapı (m veya ft)

a: Siklon girişi genişliği (m)

b: Siklon girişi yüksekliği (m)

D: Siklon çapı (m)

μ : Viskozite (kg/m-sa veya lb/ft-sn)

Tasarımda Stairmand Dizaynı esas alınmıştır. (K_a= 0,5, K_b= 0,2)

*** Q=Q Durumunda;**

$$D_{opt.} = 0,0502 \left[\frac{2551 \cdot (0,07)^2}{(1,31 \cdot 10^{-5} \cdot 75)} \cdot \frac{(1-0,2)}{(0,5) \cdot (0,2)^{2,2}} \right]^{0,454} = \mathbf{22,6 \text{ ft} = 6,9 \text{ m}}$$

Basınç Kaybı Hesabı :

$$\Delta P = 0.0033 \rho_f (U_g)^2 N_H \quad (5.5)$$

ΔP : Basınç kaybı (cm veya inch su sütunu)

ρ_f : Gaz yoğunluğu (hava) (kg/m^3 veya lb/ft^3)

U_g : Gaz hızı (ft/sn veya m/sn)

Hız Hesabı :

$$U_g = Q / (K_a K_b D_{opt.}^2) \quad (5.6)$$

N_H : Basınç kaybı parametresi (Birimsiz)

Basınç Kaybı Parametresi Hesabı :

$$N_H = 16 K_a K_b K_e \quad (5.7)$$

$K_a (a/D)$: Giriş yüksekliğinin siklon çapına oranı (Birimsiz)

$K_b (b/D)$: Giriş bölümü genişliğinin siklon çapına oranı (Birimsiz)

$K_e (De/D)$: Çıkış borusu çapının siklon çapına oranı (Birimsiz)

U_g : $2551.3 / (0.2 \times 0.5 \times (22.6)^2) = 49.95 \text{ ft/sn}$

N_H : 6.4 (Stairmand Dizaynı)

$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (49.95)^2 \times 6.4 = 3.7 \text{ " H}_2\text{O} < 10 \text{ " H}_2\text{O}$

$$n = 1 - [1 - 0.67(D)^{0.14}] (T/283)^{0.3} \quad (5.8)$$

$n = 1 - (1 - 0.67(6.9)^{0.14}) (323/283)^{0.3} = 0.87$

Verim Hesabı:

$$\eta_i = 1 - \exp \left\{ -2 \left[\frac{Q(n+1)}{D^3} \frac{\rho_p d_p^2}{18\mu} K \right]^{1/2n+2} \right\} \quad (5.9)$$

η_i : Kısmi verim

Q : Debi (ft^3/sn)

n : Katsayı

d_p : Partikül çapı (ft)

D : Optimum çap (ft)

μ : Viskozite (lb/ft-sn)

K : Siklon dizayn katsayısı (551)

* $d_p = 50 \mu\text{m}$ için;

$$\eta_i = 1 - \exp \left\{ -2 \left[\frac{2551.3(0.87+1)}{(22.6)^3} \frac{75(50 \times 10^{-6} \times 3.28)^2}{18 \times 1.31 \times 10^{-5}} 551 \right]^{1/3.74} \right\} = 0.908$$

$$\eta_{i1} = 38.8 \times 0.908 = \%35.2$$

* $d_p = 125 \mu\text{m}$ için;

$$\eta_i = 1 - \exp \left\{ -2 \left[\frac{2551.3(0.87+1)}{(22.6)^3} \frac{75(125 \times 10^{-6} \times 3.28)^2}{18 \times 1.31 \times 10^{-5}} 551 \right]^{1/3.74} \right\} = 0.979$$

$$\eta_{i2} = 40.6 \times 0.979 = \%39.74$$

* $d_p = 200 \mu\text{m}$ için;

$$\eta_i = 1 - \exp \left\{ -2 \left[\frac{2551.3(0.87+1)}{(22.6)^3} \frac{75(200 \times 10^{-6} \times 3.28)^2}{18 \times 1.31 \times 10^{-5}} 551 \right]^{1/3.74} \right\} = 0.993$$

$$\eta_{i3} = 19 \times 0.993 = \%18.87$$

* $d_p = 275 \mu\text{m}$ için;

$$\eta_i = 1 - \exp \left\{ -2 \left[\frac{2551.3(0.87+1)}{(22.6)^3} \frac{75(275 \times 10^{-6} \times 3.28)^2}{18 \times 1.31 \times 10^{-5}} 551 \right]^{1/3.74} \right\} = 0.997$$

$$\eta_{i4} = 1.6 \times 0.997 = \%1.59$$

$$\eta_T = 1.59 + 18.87 + 39.74 + 35.2 = \%95.4$$

Tablo 5.4 Q=Q Durumu için hesaplanan değerler

Q=Q Durumu Q= 2551.3 ft ³ /sn, Dopt. = 6.9 m = 22.6 ft, ΔP= 3.7 " H ₂ O, n=0.87						
dp Aralığı (μm)	Ortalama dp (μm)	g (%)	Kümülatif G (%)	η _i	η _i x g _i	η _T (%)
< 100	50	38.8	38.8	0.908	35.20	95.4
100-150	125	40.6	79.4	0.979	39.74	
150-400	275	19.00	98.4	0.993	18.87	
>400	200	1.6	100.00	0.997	1.59	

Farklı debi değerlerinde paralel siklonlar için, optimum çap bulunarak yapılan hesaplar Tablo 5.6, Tablo 5.7, Tablo 5.8 ve Tablo 5.9' da verilmiştir.

Tablo 5.5 Q=Q/2 Durumu için hesaplanan değerler

Q=Q/2 Durumu Q= 1275.5 ft³/sn, Dopt. = 5 m = 16.5 ft, ΔP= 3.25 " H₂O, n=0.83						
dp Aralığı (μm)	Ortalama dp (μm)	g (%)	Kümülatif G (%)	η _i	η _i x g _i	η _T (%)
< 100	50	38.8	38.8	0.922	35.77	96.25
100-150	125	40.6	79.4	0.985	39.99	
150-400	275	19.00	98.4	0.995	18.90	
>400	200	1.6	100.00	0.998	1.59	

Tablo 5.6 Q=Q/3 Durumu için hesaplanan değerler

Q=Q/3 Durumu Q= 850.4 ft³/sn, Dopt. = 4.20 m = 13.75 ft, ΔP= 3.00 " H₂O, n=0.81						
dp Aralığı (μm)	Ortalama dp (μm)	g (%)	Kümülatif G (%)	η _i	η _i x g _i	η _T (%)
< 100	50	38.8	38.8	0.929	36.04	96.62
100-150	125	40.6	79.4	0.987	40.07	
150-400	275	19.00	98.4	0.996	18.92	
>400	200	1.6	100.00	0.998	1.59	

Tablo 5.7 Q=Q/4 Durumu için hesaplanan değerler

Q=Q/4 Durumu Q= 637.75 ft³/sn, Dopt. = 3.70 m = 12.1 ft, ΔP= 2.81 " H₂O, n=0.80						
dp Aralığı (μm)	Ortalama dp (μm)	g (%)	Kümülatif G (%)	η _i	η _i x g _i	η _T (%)
< 100	50	38.8	38.8	0.934	36.24	96.92
100-150	125	40.6	79.4	0.989	40.15	
150-400	275	19.00	98.4	0.997	18.94	
>400	200	1.6	100.00	0.999	1.59	

Tablo 5.8 Q=Q/6 Durumu için hesaplanan değerler

Q=Q/6 Durumu Q= 425 ft³/sn, Dopt. = 3.0 m = 10 ft, ΔP= 2.67 " H₂O, n=0.77						
dp Aralığı (μm)	Ortalama dp (μm)	g (%)	Kümülatif G (%)	η _i	η _i x g _i	η _T (%)
< 100	50	38.8	38.8	0.942	36.54	97.32
100-150	125	40.6	79.4	0.991	40.23	
150-400	275	19.00	98.4	0.998	18.96	
>400	200	1.6	100.00	0.999	1.59	

5.1.2 Tesisin İşletme Değerleri Kullanılarak Farklı Çap ve Farklı Debi Değerleri için Yapılan Hesaplamalar (D ve Q Değişken)

Farklı D çapları ve $Q=Q/2$, $Q=Q/3$, $Q=Q/4$ ve $Q=Q/6$ şartları için de aynı hesaplamalar yapılmış ve bunlar Tablo 5.10' da gösterilmiştir. Bu hesaplamalarda sinter ünitesinden alınan, kuruluş aşamasındaki boyut dağılım değerleri kullanılmış ve tüm hesaplamalar Bölüm 5.1' de verildiği şekilde yapılmıştır.

Tablo 5.9 Tesis değerleri kullanılarak farklı çap ve debiler için hesaplanan basınç kayıpları ve toz tutma verimleri

D(m)	Q=Q (ft ³ /sn)		Q=Q/2 (ft ³ /sn)		Q=Q/3 (ft ³ /sn)		Q=Q/4 (ft ³ /sn)		Q=Q/6 (ft ³ /sn)	
	n _T (%)	(ΔP) ("H ₂ O)	n _T (%)	(ΔP) ("H ₂ O)	n _T (%)	(ΔP) ("H ₂ O)	n _T (%)	(ΔP) ("H ₂ O)	n _T (%)	(ΔP) ("H ₂ O)
2.9 m	-	117.7	-	29.5	-	13.1	98.40	7.4	97.68	3.3
3.0 m	-	96.2	-	24.1	-	10.7	98.20	6	97.40	2.7
3.1 m	-	89.90	-	22.2	98.50	9.9	98.10	5.6	97.23	2.50
3.2 m	-	-	-	19.8	98.40	8.8	97.95	5	96.95	2.20
3.4 m	-	-	-	15.6	98.10	6.9	97.54	3.9	96.51	1.73
3.5 m	-	-	-	13.8	97.93	6.1	97.27	3.43	96.21	1.54
3.6 m	-	-	-	12.4	97.77	5.5	97.17	3.1	95.98	1.37
3.8 m	-	-	98.18	9.98	97.37	4.4	96.67	2.46	95.40	1.10
4.0 m	-	32.7	97.90	8.2	97.10	3.6	96.30	2	95.00	0.9

5.1.3 Sinter Tozu Elek Analizi Sonucuna Göre Farklı Çap ve Debiler için Yapılan Hesaplamalar (D ve Q Değişken):

Siklonların tuttuğu iri taneli tozlar içerdiği değerli metallerde dolayı siklon çıkışında biriktirilerek sistem içinde kullanılmaktadır. Bu tozlar siklonun tuttuğu iri partiküller olduğundan, bunlardan numune alınarak farklı açıklıklara sahip eleklerden elenmiş ve tozların boyut dağılımları bulunmuştur.

Elek analizi için 45, 75, 150 ve 250 µm gözenekliliğe sahip elekler kullanılmış, malzeme eleklerde titreşim verilerek elenmiştir. Numune ilk olarak tartılmış ve sonra her bir elek üstü malzeme tartılıp tüm numune ağırlığına oranlanarak tozların boyut dağılımı % olarak bulunmuştur. Elek analizi sonucuna göre Sinter Ünitesi' ne ait tozların boyut dağılımı Tablo 5.11' de gösterilmiştir.

Tablo 5.10 Sinter ünitesi siklon altı tozu elek analizi değerleri

Elek Açıklığı (μm)	Numune Ağırlığı (gram)	Değer (%)	Kümülatif Değer (%)
> 250 (μm)	168.34	67.2	67.2
250-150 (μm)	54.34	21.7	88.9
150-75 (μm)	22.14	8.8	97.7
75-45 (μm)	3.79	1.5	99.2
< 45 (μm)	1.93	0.8	100
	250.54	100.00	

Bu bölümde elek analizi sonucuna göre farklı çaplar için kısmi ve toplam verim hesaplanmıştır. Verim hesabında sonucun gerçeğe daha yakın olabilmesi için boyut aralıkları küçültülmüş ve işlemin hassasiyeti arttırılmıştır. Aşağıda D=2.9 m çapı için Q=Q durumundaki hesaplar gösterilmiş, diğer hesaplar Ekler bölümünde verilmiştir.

1) Q= 2551.3 ft³/sn, Dopt.= 2.9 m = 9.5 ft

$$n = 1 - \left[1 - 0.67(D)^{0.14} \right] (T/283)^{0.3}$$

$$n = 1 - (1 - 0.67(9.5)^{0.14}) (323/283)^{0.3} = 0.77$$

a) Q=Q (2551.3 ft³/sn) Durumunda;

$$U_g = 2551.3 / (0.2 \times 0.5 \times (9.5)^2) = 282.7 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (282.7)^2 \times 6.4 = 118.15 \text{ " H}_2\text{O} > 10 \text{ " H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

b) Q=Q/2 (1275.5 ft³/sn) Durumunda;

$$U_g = 1275.5 / (0.2 \times 0.5 \times (9.5)^2) = 141.32 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (141.32)^2 \times 6.4 = 29.5 \text{ " H}_2\text{O} > 10 \text{ " H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

c) Q=Q/3 (850.3 ft³/sn)Durumunda;

$$U_g = 850.3 / (0.2 \times 0.5 \times (9.5)^2) = 94.22 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (94.22)^2 \times 6.4 = 13.1 \text{ " H}_2\text{O} > 10 \text{ " H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

d) Q=Q/4 (637.75 ft³/sn)Durumunda;

$$U_g = 637.75 / (0.2 \times 0.5 \times (9.5)^2) = 70.67 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (70.67)^2 \times 6.4 = 7.38 \text{ " H}_2\text{O} < 10 \text{ " H}_2\text{O} \text{ (Uygun)}$$

Tablo 5.11 $D_{opt.} = 2.9$ m ve $Q=Q/4$ durumu için verim hesabı

$Q=Q/4= 637.75 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 2.9 \text{ m} = 9.5 \text{ ft}$, $n=0.77$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	g_i (%)	G_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.783	0.0783
25-34	29.5	0.1	0.2	0.916	0.0916
34-40	37	0.3	0.5	0.940	0.282
40-50	45	0.3	0.8	0.957	0.2871
50-60	55	0.6	1.4	0.970	0.582
60-70	65	1.1	2.5	0.979	1.0769
70-84	77	1.0	3.5	0.986	0.986
84-100	92	3.5	7	0.991	3.4685
100-125	112.5	2	9	0.994	1.988
125-150	137.5	5	14	0.997	4.985
150-200	175	11	25	0.998	10.978
200-250	225	10	35	0.999	9.99
250-300	275	8	43	0.9998	7.9984
300-350	325	7	50	0.9999	6.9993
>350	350	50	100	0.9999	49.995
TOPLAM VERİM:					% 99.80

e) $Q=Q/6$ ($425 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 425 / (0.2 \times 0.5 \times (9.5)^2) = 47.09 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (47.09)^2 \times 6.4 = 3.8 \text{ " H}_2\text{O} < 10 \text{ " H}_2\text{O} \text{ (Uygun)}$$

Tablo 5.12 $D_{opt.} = 2.9$ m ve $Q=Q/6$ durumu için verim hesabı

$Q=Q/6= 425 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 2.9 \text{ m} = 9.5 \text{ ft}$, $n=0.77$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.744	0.0744
25-34	29.5	0.2	0.1	0.890	0.089
34-40	37	0.5	0.3	0.919	0.2757
40-50	45	0.8	0.3	0.940	0.282
50-60	55	1.4	0.6	0.957	0.5742
60-70	65	2.5	1.1	0.968	1.0648
70-84	77	3.5	1.0	0.977	0.977
84-100	92	7	3.5	0.985	3.4475
100-125	112.5	9	2	0.991	1.982
125-150	137.5	14	5	0.994	4.970
150-200	175	25	11	0.997	10.967
200-250	225	35	10	0.999	9.99
250-300	275	43	8	0.9996	7.9968
300-350	325	50	7	0.9998	6.9986
>350	350	100	50	0.9999	49.995
TOPLAM VERİM:					% 99.68

Tablo 5.13 Elek analizi sonuçları kullanılarak farklı çap ve debiler için hesaplanan basınç kayıpları ve toz tutma verimleri

D(m)	Q=Q (ft ³ /sn)		Q=Q/2 (ft ³ /sn)		Q=Q/3 (ft ³ /sn)		Q=Q/4 (ft ³ /sn)		Q=Q/6 (ft ³ /sn)	
	n _T (%)	(ΔP) ("H ₂ O)	n _T (%)	(ΔP) ("H ₂ O)	n _T (%)	(ΔP) (" H ₂ O)	n _T (%)	(ΔP) (" H ₂ O)	n _T (%)	(ΔP) (" H ₂ O)
2.9 m	-	118.15	-	29.50	-	13.1	99.80	7.38	99.68	3.80
3.0 m	-	96.23	-	24.05	-	10.7	99.75	6.00	99.59	2.70
3.1 m	-	88.90	-	22.22	99.80	9.87	99.75	5.55	99.59	2.50
3.2 m	-	79.17	-	19.78	99.79	8.79	99.70	4.94	98.69	2.19
3.4 m	-	62.25	-	15.55	99.75	6.91	99.64	3.88	98.58	1.72
3.5 m	-	55.01	-	13.75	99.74	6.11	99.58	3.43	98.54	1.52
3.6 m	-	49.63	-	12.40	99.64	5.51	99.58	3.10	98.34	1.37
3.8 m	-	39.41	99.76	9.85	99.64	4.37	99.53	2.46	98.21	1.06
4.0 m	-	32.60	99.75	8.16	99.53	3.62	99.42	2.04	98.10	0.90

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tesis için önerilebilecek en uygun çap ve sayıdaki siklon sisteminin bulunabilmesi için yapılan tüm hesaplarda yüksek verimler bulunmuştur. Siklonlar genel olarak iri boyutlardaki tozların tutulmasında etkili olduklarından ve sinter ünitesinin toz boyutları büyük olduğundan dolayı yüksek verimler elde edildiği düşünülmektedir. Aşağıda Tablo 6.1’ de tesis verileri ve elek analizi sonuçları kullanılarak farklı çap ve farklı debi değerleri için hesaplanmış toz tutma verimleri gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Tesisten alınan verilere ve elek analizi sonucuna dayanarak yapılan verim hesaplamalarına ait değerler

D ve Q Değerleri	Tesis verilerine göre hesaplanan verimler	Elek analizi sonuçlarına göre hesaplanan verimler
D=2,9 m ve Q=Q/4	98,40	99,80
D=2,9 m ve Q=Q/6	97,68	99,68
D=3,0 m ve Q=Q/4	98,20	99,75
D=3,0 m ve Q=Q/6	97,40	99,59
D=3,1 m ve Q=Q/3	98,50	99,80
D=3,1m ve Q=Q/4	98,10	99,75
D=3,1m ve Q=Q/6	97,23	99,59
D=3,2 m ve Q=Q/3	98,40	99,79
D=3,2 m ve Q=Q/4	97,95	99,70
D=3,2 m ve Q=Q/6	96,95	98,69
D=3,4 m ve Q=Q/3	98,10	99,75
D=3,4 m ve Q=Q/4	97,54	99,64
D=3,4 m ve Q=Q/6	96,51	98,58
D=3,5 m ve Q=Q/3	97,93	99,74
D=3,5 m ve Q=Q/4	97,27	99,58
D=3,5 m ve Q=Q/6	96,21	98,54
D=3,6 m ve Q=Q/3	97,77	99,64
D=3,6 m ve Q=Q/4	97,17	99,58
D=3,6 m ve Q=Q/6	95,98	98,34
D=3,8 m ve Q=Q/2	98,17	99,76
D=3,8 m ve Q=Q/3	97,37	99,64
D=3,8 m ve Q=Q/4	96,67	99,53
D=3,8 m ve Q=Q/6	95,40	98,21
D=4,0 m ve Q=Q/2	97,90	99,75
D=4,0 m ve Q=Q/3	97,10	99,53
D=4,0 m ve Q=Q/4	96,30	99,42
D=4,0 m ve Q=Q/6	95,00	98,10

Yukarıdaki tabloyu incelediğimizde; tesis değerleri kullanıldığında da elek analizi değerleri kullanıldığında da siklonların genel olarak % 95’ in üzerinde bir verimle çalıştıkları görülmektedir. Fakat tesisin asıl işletme verimi yapılan hesaplarda yaklaşık % 86, teorik

verimi ise % 99 olarak bulunmuştur. Toz tutma verimleri arasındaki bu farkın; hesaplamalar için yapılan kabullerden yada sinter ünitesinin işletme şartlarındaki değişikliklere bağlı olarak toz konsantrasyonundaki ve niteliğindeki dalgalanmalardan kaynaklandığı söylenebilir.

Yapılan hesaplarda; debinin azalması yani siklon sayısının arttırılması ile basınç kaybının dolayısıyla da verimin azaldığı gözlenmiştir. Aynı şekilde siklon çapının artması ile gaz hızı azaldığından dolayı (buna bağlı olarak basınç kaybı azalır) toz tutma verimi azalmıştır.

Tesiste kullanılan siklonların çapı 2.972 m' dir. Bu nedenle bu değere yakın bir değerden başlanıp 4 m' ye kadar olan aralıklarda farklı sayıdaki siklonlar için verim hesaplanmıştır. Siklon sayısı maliyeti direk olarak etkilediğinden dolayı optimum siklon sayısının bulunması bu çalışmadaki önemli amaçlardan biridir. Siklon için yeterli büyüklükte bir arazinin olması, dizayn ve işletme aşamasındaki tüm maliyetler göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

Tesis şartları göz önüne alındığında 3 m çapında 4 adet yada 4 m çapında 2 adet paralel siklon kullanımının uygun olacağı sonucu çıkarılmıştır. Bu çaptaki siklonların dizaynının daha kolay olacağı ve tesisin arazi koşullarına bu çap ve sayıdaki siklonların daha uygun olabileceği görülmüştür.

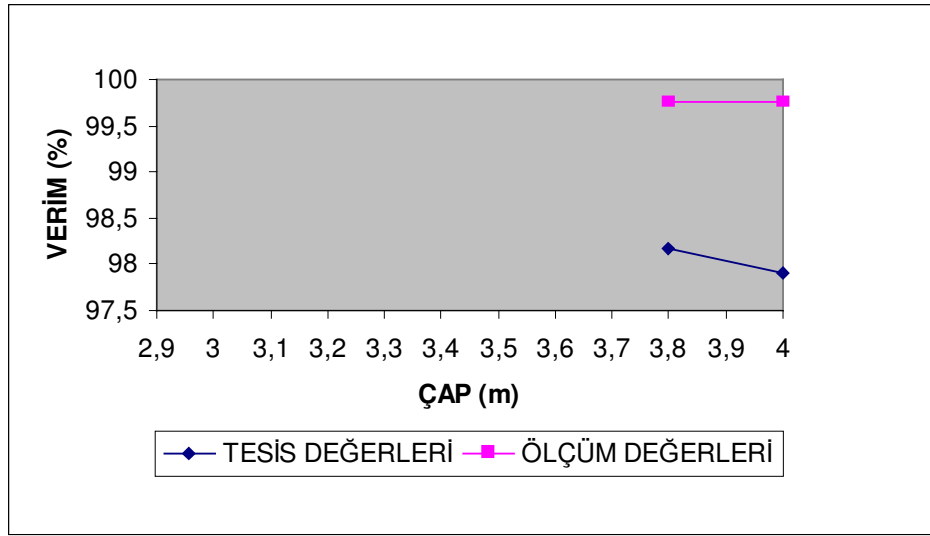
Kirletici kaynaklar ele alınan tesis bazında değerlendirildiğinde ise genel olarak, sinter ünitesinde sisteme hammaddenin beslenmesi ve sinter çıkışı tozun en fazla olduğu noktalar (Calvert, Englund, 1984). Bu noktalardaki toz emisyonları vakumlu davlumbazlar konularak ve uygun noktalarda yağmurlama yapılarak azaltılabilir.

Sinter için hammadde hazırlanması işleminde eğer hammaddeler yeterli derecede nemli değilse karıştırma sırasında, karışımın sintere beslendiği ve sinterin boşaltıldığı noktalarda, sıcak ve soğuk ızgaralarda fazla miktarda toz oluşur. Sinter çıkışından elek altı olarak geri dönen ve hammaddeye eklenen sinter tozu eğer yüksek sıcaklıkta ise hammaddenin nemini azaltarak, karışımın tozunu artırır. Sintere malzemenin beslendiği ve sinterin döküldüğü noktalara toz toplama amacı ile vakumlu davlumbazlar konularak toz yükü azaltılabilir.

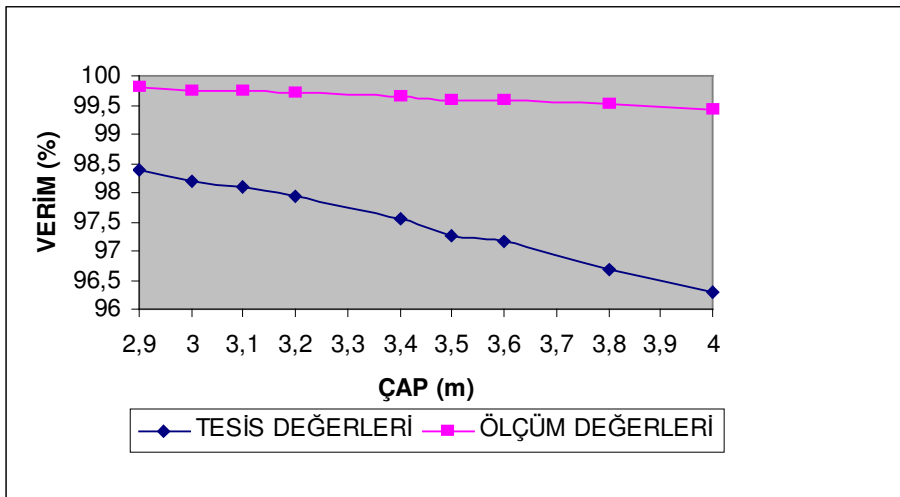
Düşük kalitede sinter üretimi geri devir ettirilen sinter miktarını arttırdığı ve bu da toz yükünü ve toplam toz emisyonunu artırır. Sinter bandının sonunda üretilen sinterler sıcak, soğuk yada ikisinin bir arada kullanıldığı ızgaralardan elenirler. Izgaralar farklı sıcaklıklarda olmasından veya sinter ile ızgaranın sıcaklık farkından dolayı da bu noktalarda tozlanma olabilmektedir (Calvert ve Englund, 1984).

Bazı sistemlerde sinterin soğutulması yada sinter prosesi sırasında oluşan sıcak gazlar toplanıp tekrar sistemde karışımın tutuşturulması sırasında kullanılmaktadır. Bu sayede oluşan tozlar da gazlarla beraber sisteme geri döndürülüp, emisyon azaltılmış olur. Sistemden meydana gelen toz yükü genellikle $9.2-13 \text{ g/Nm}^3$ ve tozların boyutları ise; % 10' u $10 \mu\text{m}$, % 40' ı $10-100 \mu\text{m}$ ve % 50' den fazlası da $100 \mu\text{m}$ ' dan büyüktür (Calvert ve Englund, 1984).

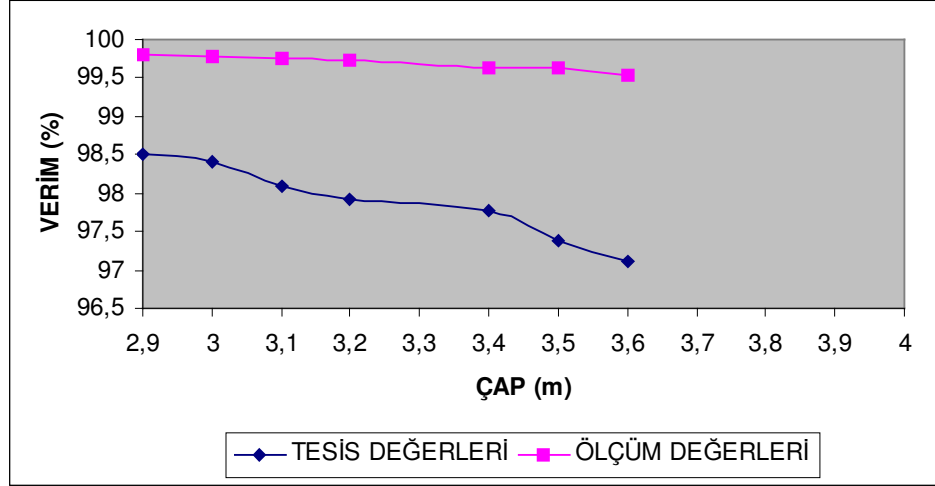
Erdemir Sinter Ünitesi' nden çıkan gazın içinde değişen oranlarda, Fe_2O_3 , CaO , K_2O , SiO_2 , Na_2O , Kireç taşı, kok, dolomit bulunmaktadır. Kullanılan malzemelerin içeriğine bağlı olarak gazın bileşimi de değişkenlik gösterir.



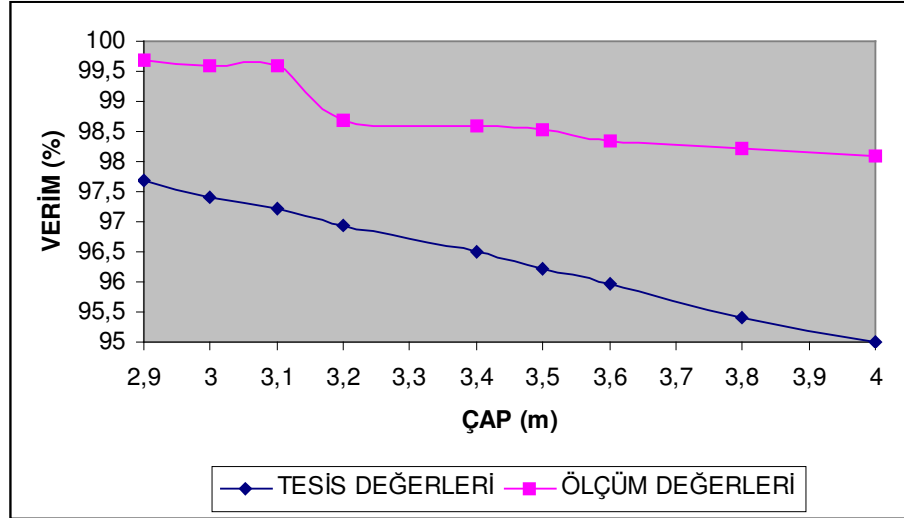
Şekil 6.1 $Q=Q/2$ Durumunda verim-çap ilişkisi



Şekil 6.2 $Q=Q/3$ Durumunda verim-çap ilişkisi



Şekil 6.3 $Q=Q/4$ Durumunda verim-çap ilişkisi



Şekil 6.4 $Q=Q/6$ Durumunda verim-çap ilişkisi

KAYNAKLAR

Alexander, R.M., (1949), Proc.Austral.Inst.of Min. and Met. (N.S.), 152/3: 202.

Aydın, Ö., (2005), Yüksek Fırın İşletmeciliğinde Optimizasyon, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bretschneider, B., Kurfürst, J., (1987), Fundamental Aspects of Pollution Control and Enviromental Science 8, Air Pollution Control Technology, Publishers of Technical Literature, Prague, Czechoslovakia. (Elsevier Science Publishing Company Inc., 1987).

Calvert, S., Englund, H., (1984), Handbook of Air Pollution Technology, Source Control Ferrous Metallurgy, A Wiley-Interscience Publication, U.S.A.

Cheremisinoff, P.N., Bhatia, M.V., (1977), Air Pollution Control and Design Handbook, B:10, Sf: 281-316, Marcel Dekker, Inc., New York.

Clement, R., Kagel, R., (1990), Emissions from Processes: Origin, Measurement, Control, Lewis Publishers, U.S.A.

Climate Leaders GHG Inventory Protocol, (2003), Draft Iron & Steel Producton – Guidance, Climate Protection Partnerships Division Office of Atmospheric Programs, U.S. Enviromental Protection Agency, Section: 1-3, June, 2003.

Cooper, C.D., Alley, F.C., (2002), Air Pollution Control, Prospect Heights, Illinois, U.S.A.

Davies, C.N., (1952), Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, B:1, S:185.

Elcuman M., (1993), Akçimento Büyükçekmece Tesisleri Toz Tutma Sistemleri Projesi, Bitirme Porjesi, YTÜ.

E.P.A. (Enviromental Protection Agency), (1982), 2. Control Techniques for Particulate Emissions from Stationary Sources-Volume 1 (EPA-450/3-81-005a; NTIS PB83-127498), U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, September.

E.P.A., (1985), “Guidance for Iron and Steel Manufacturing Pretreatment Standarts”, Industrial Techonology Division Office of Water Regulations and Standarts and Permits Division Office of Enforcements and Permits, September, 1985, U.S. Enviromental Protection Agency.

E.P.A., (1997), Fabric Filter Bag Leak Detection Guidance, Office of Air Quality Planning and Standarts, E.P.A.-454/R-98-015, September, 1997.

Ercümen, Y., (1995), Elektrikli Ark Ocağı ile Çelik Üretimi Partikül Emisyonu Kontrolünün Kroman Çelik Sanayi Örneğinde İncelenmesi, Bitirme Tezi, YTÜ.

Erol, Ş., Turan, A., Karaman, A., Adalı, M., (1991), Yüksek Fırınlr ve Sinter Müdürlüğü, Eğitim Yayınları, No:131.

Ertürk, F., (2004), Atık Gaz Kontrolü ve Partikül Kontrolü Ders Notları, YTÜ.

Fabrika İşletme Notları, 2004, Erdemir Fabrikası Sinter Ünitesi' ne ait işletme notları.

Heinsohn, R. J., Kabel, R. L., (1999), Sources and Control of Air Pollution, The Pennsylvania University, New Jersey.

Kalen, B.ve Zenz, F.A. (1974), A.I.Ch.E.Sympos. Ser., 70: No.137, 388.

Kellogg, W.W., (1972), The Sulfur Cycle, Science, Pages:175, 587-596.

Koch, W. ve Licht, (1977), W.Chemical Eng., 84: 80.

Lapple, C.E., (1951), "Processes use many collector types", Chemical Engineering, 58:144-151.

Licht, W., (1980), Air Pollution Control Engineering- Basic Calculations for Particulate Collection, Dekker.

M.M.O., (1969), Makine Mühendisleri Odası " Büyük Şehirlerde Havanın Temizlenmesi" Kongresi, 199-205.

Müezzinoğlu, A., (1987), Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları, D.E.Ü., İzmir.

Özdabak, A., (2004), Demir Çelik ve Enerji, Erdemir Bilim-Teknoloji Serisi, İstanbul.

Öztürk, M., (2007), Partikül Madde Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi Raporu, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Robinson, E., Moser, C.E., (1970), Global Gaseous Pollutant Emissions and Removal Mechanisms, Proceedings of 2nd International Clean Air Congress, Washington, D.C., December.

Shepherd, C.B., Lapple, C.E., (1939), "Flow pattern and pressure drop in cyclone dust collectors", Ind.Eng.Chem., 31(8), Pages:972-984.

Shepherd, C.B., Lapple, C.E., (1940), "Flow pattern and pressure drop in cyclone dust collectors", Ind. Eng.Chem.; 32(9) (1940).

Shin, M., Kim, H., Jang, D., Bohnet, M., (2005), "A numerical and experimental study on a high efficiency cyclone dust separator for high temperature and pressurized environments", Volume 25, Issues 11-12 , August 2005, Pages: 1821-1835.

Singer,S.F., (1970), "Global Effects of Environmental Pollution", Springer-Verlag, New York.

Velzen, D. V., (1990), Sulphur Dioxide and Nitrogen Oxides in Industrial Waste Gases: Emission, Legislation and Abatement, Joint Research Centre Ispra, Italy, September 3-7,1990.

Wark, K. ve Warner C.F. (1998), Air Pollution, Its Origin and Control, Addison-Wesley Longman Inc., USA.

Williamson, S.J. (1973), “Fundamentals of Air Pollution”, Addison-Wesley Publishing Co. 321.

Woodard, K., (1998), “Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate Matter”, Integrated Policy and Strategies Group (MD-15), Air Quality Strategies and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, October, 1998, EPA Contract No. 68-D-98-026, Work Assignment No. 0-08.

Yeniçeri, M., (1991), Demir Çelik Madenciliğinin El Kitabı, Türkiye Demir Çelik İşletmeleri Eğitim Yayınları, Ankara.

İnternet Kaynakları

<http://www.cevreorman.gov.tr/yasa/yonetmelik.asp>
<http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler4/hava.pdf>
<http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler4/havayon.doc>
<http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/metalmad/oik635.pdf>
<http://www.epa.gov/climateleaders/docs/ironsteel.pdf>
<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s05.pdf>
<http://www.epa.gov/ispd/pdf/2006/ironandsteel.pdf>
<http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t3/reports/irnstlbid.pdf>
<http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/finepmtech.pdf>
<http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/cs6ch1.pdf>
<http://www.wapc.com/PDF/FabricFilters.pdf>

EKLER

Ek 1 Sinter Ünitesi' nin Elek Analizi Sonucuna Göre Boyutlandırılması için Yapılan Hesapların Ayrıntıları

1) $Q = 2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{\text{opt.}} = 3.0 \text{ m} = 10 \text{ ft}$

$$n = 1 - \left[1 - 0.67(D)^{0.14} \right] (T/283)^{0.3}$$

$$n = 1 - (1 - 0.67(10)^{0.14}) (323/283)^{0.3} = 0.77$$

a) $Q = Q$ ($2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 2551.3 / (0.2 \times 0.5 \times (10)^2) = 255.13 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (255.13)^2 \times 6.4 = 96.23 \text{ " H}_2\text{O} > 10 \text{ " H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

b) $Q = Q/2$ ($1275.5 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 1275.5 / (0.2 \times 0.5 \times (10)^2) = 127.55 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (127.55)^2 \times 6.4 = 24.05 \text{ " H}_2\text{O} > 10 \text{ " H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

c) $Q = Q/3$ ($850.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 850.3 / (0.2 \times 0.5 \times (10)^2) = 85.03 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (85.03)^2 \times 6.4 = 10.7 \text{ " H}_2\text{O} > 10 \text{ " H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

Tablo Ek 1.1 $D_{\text{opt.}} = 3.0 \text{ m}$ ve $Q = Q/4$ Durumu için verim hesabı

$Q = Q/4 = 637.75 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{\text{opt.}} = 3.0 \text{ m} = 10 \text{ ft}$, $\Delta P = 6.0 \text{ " H}_2\text{O}$, $U_g = 63.77 \text{ ft/sn}$ $n = 0.77$,					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.769	0.0769
25-34	29.5	0.2	0.1	0.907	0.0907
34-40	37	0.5	0.3	0.933	0.2799
40-50	45	0.8	0.3	0.951	0.2853
50-60	55	1.4	0.6	0.966	0.5796
60-70	65	2.5	1.1	0.975	1.0725
70-84	77	3.5	1.0	0.983	0.983
84-100	92	7	3.5	0.989	3.4615
100-125	112.5	9	2	0.989	1.986
125-150	137.5	14	5	0.993	4.965
150-200	175	25	11	0.996	10.956
200-250	225	35	10	0.998	9.98
250-300	275	43	8	0.999	7.9976
300-350	325	50	7	0.9999	6.9993
>350	350	100	50	0.9999	49.9
TOPLAM VERİM:					% 99.75

Tablo Ek 1.2 $D_{opt.} = 3.0$ m ve $Q=Q/6$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/6= 425 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.0 \text{ m} = 10 \text{ ft}$, $\Delta P = 2.7 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g = 42.5 \text{ ft/sn}$ $n=0.77$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.729	0.0729
25-34	29.5	0.2	0.1	0.880	0.088
34-40	37	0.5	0.3	0.910	0.273
40-50	45	0.8	0.3	0.932	0.2796
50-60	55	1.4	0.6	0.951	0.60
60-70	65	2.5	1.1	0.963	1.0593
70-84	77	3.5	1.0	0.974	0.974
84-100	92	7	3.5	0.982	3.437
100-125	112.5	9	2	0.989	1.978
125-150	137.5	14	5	0.993	4.965
150-200	175	25	11	0.996	10.956
200-250	225	35	10	0.998	9.98
250-300	275	43	8	0.9994	7.9952
300-350	325	50	7	0.9997	6.9979
>350	350	100	50	0.9998	49.99
TOPLAM VERİM:					% 99.59

3) $Q = 2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.1 \text{ m} = 10.2 \text{ ft}$

$$n = 1 - \left[1 - 0.67(D)^{0.14} \right] (T/283)^{0.3}$$

$$n = 1 - (1 - 0.67(10.2)^{0.14}) (323/283)^{0.3} = 0.78$$

a) $Q=Q$ ($2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 2551.3 / (0.2 \times 0.5 \times (10.2)^2) = 245.22 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (245.22)^2 \times 6.4 = 88.90 \text{ '' H}_2\text{O} > 10 \text{ '' H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

b) $Q=Q/2$ ($1275.5 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 1275.5 / (0.2 \times 0.5 \times (10.2)^2) = 122.60 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (122.60)^2 \times 6.4 = 22.22 \text{ '' H}_2\text{O} > 10 \text{ '' H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

Tablo Ek 1.3 $D_{opt.} = 3.1$ m ve $Q=Q/3$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/3= 850.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.1 \text{ m} = 10.2 \text{ ft}$, $\Delta P=9.87 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=81.72 \text{ ft/sn}$ $n=0.78$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.791	0.0791
25-34	29.5	0.2	0.1	0.921	0.0921
34-40	37	0.5	0.3	0.944	0.2832
40-50	45	0.8	0.3	0.960	0.2880
50-60	55	1.4	0.6	0.972	0.5832
60-70	65	2.5	1.1	0.980	1.078
70-84	77	3.5	1.0	0.987	0.987
84-100	92	7	3.5	0.991	3.4685
100-125	112.5	9	2	0.995	1.990
125-150	137.5	14	5	0.997	4.985
150-200	175	25	11	0.998	10.978
200-250	225	35	10	0.9996	9.996
250-300	275	43	8	0.9998	7.9984
300-350	325	50	7	0.9999	6.9993
>350	350	100	50	0.9999	49.995
TOPLAM VERİM:					% 99.80

Tablo Ek 1.4 $D_{opt.} = 3.1$ m ve $Q=Q/4$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/4= 637.75 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.1 \text{ m} = 10.2 \text{ ft}$, $\Delta P=5.55 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=61.29 \text{ ft/sn}$ $n=0.78$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.764	0.0764
25-34	29.5	0.2	0.1	0.903	0.0903
34-40	37	0.5	0.3	0.930	0.279
40-50	45	0.8	0.3	0.949	0.2847
50-60	55	1.4	0.6	0.963	0.5778
60-70	65	2.5	1.1	0.974	1.0714
70-84	77	3.5	1.0	0.981	0.981
84-100	92	7	3.5	0.988	3.458
100-125	112.5	9	2	0.993	1.986
125-150	137.5	14	5	0.996	4.98
150-200	175	25	11	0.998	10.978
200-250	225	35	10	0.9993	9.993
250-300	275	43	8	0.9997	7.9976
300-350	325	50	7	0.9998	6.9986
>350	350	100	50	0.9999	49.995
TOPLAM VERİM:					% 99.75

Tablo Ek 1.5 $D_{opt.}= 3.1$ m ve $Q=Q/6$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/6= 425 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.}= 3.1 \text{ m}= 10.2 \text{ ft}$, $\Delta P=2.5 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=40.84 \text{ ft/sn}$ $n=0.78$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.724	0.0724
25-34	29.5	0.2	0.1	0.876	0.0876
34-40	37	0.5	0.3	0.906	0.2718
40-50	45	0.8	0.3	0.929	0.2787
50-60	55	1.4	0.6	0.948	0.5688
60-70	65	2.5	1.1	0.961	1.0571
70-84	77	3.5	1.0	0.972	0.972
84-100	92	7	3.5	0.980	3.430
100-125	112.5	9	2	0.988	1.976
125-150	137.5	14	5	0.993	4.965
150-200	175	25	11	0.996	10.956
200-250	225	35	10	0.998	9.98
250-300	275	43	8	0.9993	7.9944
300-350	325	50	7	0.9996	6.9972
>350	350	100	50	0.9997	49.985
TOPLAM VERİM:					% 99.59

4) $Q= 2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.}= 3.2 \text{ m}= 10.5 \text{ ft}$

$$n = 1 - \left[1 - 0.67(D)^{0.14} \right] (T/283)^{0.3}$$

$$n = 1 - (1 - 0.67(10.5)^{0.14}) (323/283)^{0.3} = 0.78$$

a) $Q=Q$ ($2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 2551.3 / (0.2 \times 0.5 \times (10.5)^2) = 231.41 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (231.41)^2 \times 6.4 = 79.17 \text{ '' H}_2\text{O} > 10 \text{ '' H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

b) $Q=Q/2$ ($1275.5 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 1275.5 / (0.2 \times 0.5 \times (10.5)^2) = 115.69 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (115.69)^2 \times 6.4 = 19.78 \text{ '' H}_2\text{O} > 10 \text{ '' H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

Tablo Ek 1.6 $D_{opt.} = 3.2$ m ve $Q=Q/3$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/3= 850.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.2 \text{ m} = 10.5 \text{ ft}$, $\Delta P=8.79 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g= 77.12 \text{ ft/sn}$ $n=0.78$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.783	0.0783
25-34	29.5	0.2	0.1	0.916	0.0916
34-40	37	0.5	0.3	0.940	0.282
40-50	45	0.8	0.3	0.957	0.2871
50-60	55	1.4	0.6	0.970	0.582
60-70	65	2.5	1.1	0.978	1.0758
70-84	77	3.5	1.0	0.986	0.986
84-100	92	7	3.5	0.990	3.465
100-125	112.5	9	2	0.994	1.988
125-150	137.5	14	5	0.997	4.985
150-200	175	25	11	0.998	10.978
200-250	225	35	10	0.9995	9.995
250-300	275	43	8	0.9998	7.9984
300-350	325	50	7	0.9999	6.9993
>350	350	100	50	0.9999	49.995
TOPLAM VERİM:					% 99.79

Tablo Ek 1.7 $D_{opt.} = 3.2$ m ve $Q=Q/4$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/4= 637.75 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.2 \text{ m} = 10.5 \text{ ft}$, $\Delta P= 4.94 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=57.84 \text{ ft/sn}$ $n=0.78$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.756	0.0756
25-34	29.5	0.2	0.1	0.898	0.0898
34-40	37	0.5	0.3	0.925	0.2775
40-50	45	0.8	0.3	0.944	0.2832
50-60	55	1.4	0.6	0.960	0.576
60-70	65	2.5	1.1	0.971	1.0681
70-84	77	3.5	1.0	0.980	0.980
84-100	92	7	3.5	0.986	3.451
100-125	112.5	9	2	0.992	1.984
125-150	137.5	14	5	0.995	4.975
150-200	175	25	11	0.998	10.978
200-250	225	35	10	0.999	9.99
250-300	275	43	8	0.9996	7.9968
300-350	325	50	7	0.9998	6.9986
>350	350	100	50	0.9999	49.995
TOPLAM VERİM:					% 99.70

Tablo Ek 1.8 $D_{opt}= 3.2$ m ve $Q=Q/6$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/6= 425 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt}= 3.2 \text{ m}= 10.5 \text{ ft}$, $\Delta P=2.19 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=38.54 \text{ ft/sn}$					
$n=0.78$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.716	0.0716
25-34	29.5	0.2	0.1	0.869	0.0869
34-40	37	0.5	0.3	0.901	0.2703
40-50	45	0.8	0.3	0.924	0.2772
50-60	55	1.4	0.6	0.944	0.5664
60-70	65	2.5	1.1	0.958	1.0538
70-84	77	3.5	1.0	0.969	0.0969
84-100	92	7	3.5	0.979	3.4265
100-125	112.5	9	2	0.986	1.972
125-150	137.5	14	5	0.992	4.960
150-200	175	25	11	0.996	10.956
200-250	225	35	10	0.998	9.98
250-300	275	43	8	0.9992	7.9936
300-350	325	50	7	0.9996	6.9972
>350	350	100	50	0.9997	49.985
TOPLAM VERİM:					% 98.69

5) $Q= 2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt}= 3.4 \text{ m}= 11.15 \text{ ft}$

$$n = 1 - \left[1 - 0.67(D)^{0.14} \right] (T/283)^{0.3}$$

$$n = 1 - (1 - 0.67(11.15)^{0.14}) (323/283)^{0.3} = 0.79$$

a) $Q=Q$ ($2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 2551.3 / (0.2 \times 0.5 \times (11.15)^2) = 205.21 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (205.21)^2 \times 6.4 = 62.25 \text{ '' H}_2\text{O} > 10 \text{ '' H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

b) $Q=Q/2$ ($1275.5 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 1275.5 / (0.2 \times 0.5 \times (11.15)^2) = 102.59 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (102.59)^2 \times 6.4 = 15.55 \text{ '' H}_2\text{O} > 10 \text{ '' H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

Tablo Ek 1.9 $D_{opt.} = 3.4$ m ve $Q=Q/3$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/3= 850.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.4 \text{ m} = 11.15 \text{ ft}$, $\Delta P=6.91 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=68.39 \text{ ft/sn}$ $n=0.79$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.767	0.0767
25-34	29.5	0.2	0.1	0.905	0.0905
34-40	37	0.5	0.3	0.931	0.2793
40-50	45	0.8	0.3	0.949	0.2847
50-60	55	1.4	0.6	0.965	0.579
60-70	65	2.5	1.1	0.974	1.0714
70-84	77	3.5	1.0	0.982	0.982
84-100	92	7	3.5	0.988	3.458
100-125	112.5	9	2	0.993	1.986
125-150	137.5	14	5	0.996	4.980
150-200	175	25	11	0.998	10.978
200-250	225	35	10	0.999	9.99
250-300	275	43	8	0.9997	7.9976
300-350	325	50	7	0.9998	6.9986
>350	350	100	50	0.9999	49.995
TOPLAM VERİM:					% 99.75

Tablo Ek 1.10 $D_{opt.} = 3.4$ m ve $Q=Q/4$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/4= 637.75 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.4 \text{ m} = 11.15 \text{ ft}$, $\Delta P=3.88 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=51.29 \text{ ft/sn}$ $n=0.79$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.739	0.0739
25-34	29.5	0.2	0.1	0.886	0.0886
34-40	37	0.5	0.3	0.915	0.2745
40-50	45	0.8	0.3	0.936	0.2808
50-60	55	1.4	0.6	0.954	0.5724
60-70	65	2.5	1.1	0.966	1.0626
70-84	77	3.5	1.0	0.975	0.975
84-100	92	7	3.5	0.983	3.4405
100-125	112.5	9	2	0.989	1.978
125-150	137.5	14	5	0.994	4.970
150-200	175	25	11	0.997	10.967
200-250	225	35	10	0.998	9.98
250-300	275	43	8	0.9994	7.9952
300-350	325	50	7	0.9997	6.9979
>350	350	100	50	0.9998	49.85
TOPLAM VERİM:					% 99.64

Tablo Ek 1.11 $D_{opt.} = 3.4$ m ve $Q=Q/6$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/6 = 425 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.4 \text{ m} = 11.15 \text{ ft}$, $\Delta P = 1.72 \text{ " H}_2\text{O}$, $U_g = 34.18 \text{ ft/sn}$ $n = 0.79$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.699	0.0699
25-34	29.5	0.2	0.1	0.856	0.0856
34-40	37	0.5	0.3	0.889	0.2667
40-50	45	0.8	0.3	0.914	0.2742
50-60	55	1.4	0.6	0.936	0.5616
60-70	65	2.5	1.1	0.951	1.0461
70-84	77	3.5	1.0	0.963	0.0963
84-100	92	7	3.5	0.974	3.409
100-125	112.5	9	2	0.983	1.966
125-150	137.5	14	5	0.989	4.945
150-200	175	25	11	0.994	10.934
200-250	225	35	10	0.997	9.97
250-300	275	43	8	0.998	7.984
300-350	325	50	7	0.9994	6.9958
>350	350	100	50	0.9997	49.985
TOPLAM VERİM:					% 98.58

6) $Q = 2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.5 \text{ m} = 11.5 \text{ ft}$

$$n = 1 - \left[1 - 0.67(D)^{0.14} \right] (T/283)^{0.3}$$

$$n = 1 - (1 - 0.67(11.5)^{0.14}) (323/283)^{0.3} = 0.79$$

a) $Q=Q$ ($2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 2551.3 / (0.2 \times 0.5 \times (11.5)^2) = 192.91 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (192.91)^2 \times 6.4 = 55.01 \text{ " H}_2\text{O} > 10 \text{ " H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

b) $Q=Q/2$ ($1275.5 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 1275.5 / (0.2 \times 0.5 \times (11.5)^2) = 96.44 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (96.44)^2 \times 6.4 = 13.75 \text{ " H}_2\text{O} > 10 \text{ " H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

Tablo Ek 1.12 $D_{opt.} = 3.5$ m ve $Q=Q/3$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/3= 850.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.5 \text{ m} = 11.5 \text{ ft}$, $\Delta P=6.11 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=64.29 \text{ ft/sn}$ $n=0.79$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.758	0.0758
25-34	29.5	0.2	0.1	0.899	0.0899
34-40	37	0.5	0.3	0.926	0.2778
40-50	45	0.8	0.3	0.945	0.2835
50-60	55	1.4	0.6	0.961	0.5766
60-70	65	2.5	1.1	0.971	1.0681
70-84	77	3.5	1.0	0.980	0.980
84-100	92	7	3.5	0.986	3.451
100-125	112.5	9	2	0.992	1.984
125-150	137.5	14	5	0.995	4.975
150-200	175	25	11	0.997	10.967
200-250	225	35	10	0.9992	9.992
250-300	275	43	8	0.9996	7.9968
300-350	325	50	7	0.9998	6.9986
>350	350	100	50	0.9999	49.85
TOPLAM VERİM:					% 99.74

Tablo Ek 1.13 $D_{opt.} = 3.5$ m ve $Q=Q/4$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/4= 637.75 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.5 \text{ m} = 11.5 \text{ ft}$, $\Delta P= 3.43 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=48.22 \text{ ft/sn}$ $n=0.79$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.730	0.0730
25-34	29.5	0.2	0.1	0.879	0.0879
34-40	37	0.5	0.3	0.910	0.273
40-50	45	0.8	0.3	0.931	0.2793
50-60	55	1.4	0.6	0.95	0.57
60-70	65	2.5	1.1	0.962	1.0582
70-84	77	3.5	1.0	0.973	0.973
84-100	92	7	3.5	0.982	3.437
100-125	112.5	9	2	0.989	1.978
125-150	137.5	14	5	0.993	4.965
150-200	175	25	11	0.996	10.956
200-250	225	35	10	0.998	9.98
250-300	275	43	8	0.9993	7.9944
300-350	325	50	7	0.9996	6.9972
>350	350	100	50	0.9997	49.985
TOPLAM VERİM:					% 99.58

Tablo Ek 1.14 $D_{opt.} = 3.5$ m ve $Q=Q/6$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/6 = 425 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.5 \text{ m} = 11.5 \text{ ft}$, $\Delta P = 1.52 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g = 32.13 \text{ ft/sn}$ $n = 0.79$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.690	0.069
25-34	29.5	0.2	0.1	0.849	0.0849
34-40	37	0.5	0.3	0.883	0.2649
40-50	45	0.8	0.3	0.908	0.2724
50-60	55	1.4	0.6	0.931	0.5586
60-70	65	2.5	1.1	0.947	1.0417
70-84	77	3.5	1.0	0.960	0.096
84-100	92	7	3.5	0.971	3.3985
100-125	112.5	9	2	0.981	1.962
125-150	137.5	14	5	0.988	4.940
150-200	175	25	11	0.994	10.934
200-250	225	35	10	0.997	9.97
250-300	275	43	8	0.998	7.984
300-350	325	50	7	0.9992	6.9944
>350	350	100	50	0.9994	49.97
TOPLAM VERİM:					% 98.54

7) $Q = 2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.6 \text{ m} = 11.8 \text{ ft}$

$$n = 1 - \left[1 - 0.67(D)^{0.14} \right] (T/283)^{0.3}$$

$$n = 1 - (1 - 0.67(11.8)^{0.14}) (323/283)^{0.3} = 0.79$$

a) $Q=Q$ ($2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 2551.3 / (0.2 \times 0.5 \times (11.8)^2) = 183.23 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (183.23)^2 \times 6.4 = 49.63 \text{ '' H}_2\text{O} > 10 \text{ '' H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

b) $Q=Q/2$ ($1275.5 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 1275.5 / (0.2 \times 0.5 \times (11.8)^2) = 91.60 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (91.60)^2 \times 6.4 = 12.40 \text{ '' H}_2\text{O} > 10 \text{ '' H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

Tablo Ek 1.15 $D_{opt.} = 3.6$ m ve $Q=Q/3$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/3= 850.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.6 \text{ m} = 11.8 \text{ ft}$, $\Delta P=5.51 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=61.06 \text{ ft/sn}$ $n=0.79$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.751	0.0751
25-34	29.5	0.2	0.1	0.894	0.0894
34-40	37	0.5	0.3	0.922	0.2766
40-50	45	0.8	0.3	0.941	0.2823
50-60	55	1.4	0.6	0.958	0.5748
60-70	65	2.5	1.1	0.969	1.0659
70-84	77	3.5	1.0	0.978	0.978
84-100	92	7	3.5	0.985	3.4475
100-125	112.5	9	2	0.991	1.982
125-150	137.5	14	5	0.995	4.975
150-200	175	25	11	0.997	10.967
200-250	225	35	10	0.999	9.99
250-300	275	43	8	0.9996	7.9968
300-350	325	50	7	0.9998	6.9986
>350	350	100	50	0.9999	49.995
TOPLAM VERİM:					% 99.64

Tablo Ek 1.16 $D_{opt.} = 3.6$ m ve $Q=Q/4$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/4= 637.75 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.6 \text{ m} = 11.8 \text{ ft}$, $\Delta P=3.10 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=45.80 \text{ ft/sn}$ $n=0.79$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.723	0.0723
25-34	29.5	0.2	0.1	0.874	0.0874
34-40	37	0.5	0.3	0.905	0.2715
40-50	45	0.8	0.3	0.927	0.2781
50-60	55	1.4	0.6	0.947	0.5682
60-70	65	2.5	1.1	0.960	1.056
70-84	77	3.5	1.0	0.971	0.971
84-100	92	7	3.5	0.98	3.43
100-125	112.5	9	2	0.987	1.974
125-150	137.5	14	5	0.992	4.96
150-200	175	25	11	0.996	10.956
200-250	225	35	10	0.998	9.98
250-300	275	43	8	0.999	7.992
300-350	325	50	7	0.9996	6.9972
>350	350	100	50	0.9997	49.985
TOPLAM VERİM:					% 99.58

Tablo Ek 1.17 $D_{opt.} = 3.6$ m ve $Q=Q/6$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/6= 425 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.6 \text{ m} = 11.8 \text{ ft}$, $\Delta P = 1.37 \text{ " H}_2\text{O}$, $U_g=30.52 \text{ ft/sn}$ $n=0.79$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.682	0.0682
25-34	29.5	0.2	0.1	0.843	0.0843
34-40	37	0.5	0.3	0.877	0.2631
40-50	45	0.8	0.3	0.904	0.2712
50-60	55	1.4	0.6	0.927	0.5562
60-70	65	2.5	1.1	0.943	1.0373
70-84	77	3.5	1.0	0.957	0.957
84-100	92	7	3.5	0.969	3.3915
100-125	112.5	9	2	0.980	1.960
125-150	137.5	14	5	0.987	4.935
150-200	175	25	11	0.993	10.923
200-250	225	35	10	0.996	9.96
250-300	275	43	8	0.998	7.984
300-350	325	50	7	0.9991	6.9937
>350	350	100	50	0.9993	49.965
TOPLAM VERİM:					% 98.34

8) $Q = 2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.8 \text{ m} = 12.5 \text{ ft}$

$$n = 1 - \left[1 - 0.67(D)^{0.14} \right] (T/283)^{0.3}$$

$$n = 1 - (1 - 0.67(12.5)^{0.14}) (323/283)^{0.3} = 0.80$$

a) $Q=Q$ ($2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 2551.3 / (0.2 \times 0.5 \times (12.5)^2) = 163.28 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (163.28)^2 \times 6.4 = 39.41 \text{ " H}_2\text{O} > 10 \text{ " H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

b) $Q=Q/2$ ($1275.5 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 1275.5 / (0.2 \times 0.5 \times (12.5)^2) = 81.63 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (81.63)^2 \times 6.4 = 9.85 \text{ " H}_2\text{O} < 10 \text{ " H}_2\text{O} \text{ (Uygun)}$$

Tablo Ek 1.18 $D_{opt.} = 3.8$ m ve $Q=Q/2$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/2= 1275.5 \text{ ft}^3/\text{sn}, D_{opt.} = 3.8 \text{ m} = 12.5 \text{ ft}, \Delta P = 9.85 \text{ '' H}_2\text{O}, U_g=81.63 \text{ ft/sn}$ $n=0.80$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.774	0.0774
25-34	29.5	0.2	0.1	0.909	0.0909
34-40	37	0.5	0.3	0.934	0.2802
40-50	45	0.8	0.3	0.952	0.2856
50-60	55	1.4	0.6	0.966	0.5796
60-70	65	2.5	1.1	0.976	1.0736
70-84	77	3.5	1.0	0.983	0.983
84-100	92	7	3.5	0.989	3.4615
100-125	112.5	9	2	0.993	1.986
125-150	137.5	14	5	0.996	4.980
150-200	175	25	11	0.998	10.978
200-250	225	35	10	0.9994	9.994
250-300	275	43	8	0.9997	7.9976
300-350	325	50	7	0.9998	6.9986
>350	350	100	50	0.9999	49.995
TOPLAM VERİM:					% 99.76

Tablo Ek 1.19 $D_{opt.} = 3.8$ m ve $Q=Q/3$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/3= 850.3 \text{ ft}^3/\text{sn}, D_{opt.} = 3.8 \text{ m} = 12.5 \text{ ft}, \Delta P = 4.37 \text{ '' H}_2\text{O}, U_g=54.41 \text{ ft/sn}$ $n=0.80$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.736	0.0736
25-34	29.5	0.2	0.1	0.882	0.0882
34-40	37	0.5	0.3	0.912	0.2736
40-50	45	0.8	0.3	0.933	0.2799
50-60	55	1.4	0.6	0.952	0.5712
60-70	65	2.5	1.1	0.964	1.0604
70-84	77	3.5	1.0	0.974	0.974
84-100	92	7	3.5	0.982	3.437
100-125	112.5	9	2	0.989	1.978
125-150	137.5	14	5	0.993	4.965
150-200	175	25	11	0.997	10.967
200-250	225	35	10	0.998	9.98
250-300	275	43	8	0.9993	7.9944
300-350	325	50	7	0.9997	6.9979
>350	350	100	50	0.9998	49.99
TOPLAM VERİM:					% 99.64

Tablo Ek 1.20 $D_{opt.} = 3.8$ m ve $Q=Q/4$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/4 = 425 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.8 \text{ m} = 12.5 \text{ ft}$, $\Delta P = 2.46'' \text{ H}_2\text{O}$, $U_g = 40.81 \text{ ft/sn}$ $n=0.80$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.707	0.0707
25-34	29.5	0.2	0.1	0.861	0.0861
34-40	37	0.5	0.3	0.894	0.2682
40-50	45	0.8	0.3	0.918	0.2754
50-60	55	1.4	0.6	0.939	0.5634
60-70	65	2.5	1.1	0.954	1.0494
70-84	77	3.5	1.0	0.966	0.966
84-100	92	7	3.5	0.976	3.416
100-125	112.5	9	2	0.984	1.968
125-150	137.5	14	5	0.990	4.950
150-200	175	25	11	0.995	10.945
200-250	225	35	10	0.998	9.98
250-300	275	43	8	0.999	7.992
300-350	325	50	7	0.9994	6.9958
>350	350	100	50	0.9995	49.975
TOPLAM VERİM:					% 99.53

Tablo Ek 1.21 $D_{opt.} = 3.8$ m ve $Q=Q/6$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/6 = 425 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 3.8 \text{ m} = 12.5 \text{ ft}$, $\Delta P = 1.09'' \text{ H}_2\text{O}$, $U_g = 27.2 \text{ ft/sn}$ $n=0.80$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.666	0.0666
25-34	29.5	0.2	0.1	0.829	0.0829
34-40	37	0.5	0.3	0.865	0.2595
40-50	45	0.8	0.3	0.893	0.2679
50-60	55	1.4	0.6	0.917	0.5502
60-70	65	2.5	1.1	0.935	1.0285
70-84	77	3.5	1.0	0.950	0.950
84-100	92	7	3.5	0.964	3.374
100-125	112.5	9	2	0.975	1.950
125-150	137.5	14	5	0.984	4.920
150-200	175	25	11	0.991	10.901
200-250	225	35	10	0.995	9.95
250-300	275	43	8	0.997	7.976
300-350	325	50	7	0.998	6.986
>350	350	100	50	0.999	49.95
TOPLAM VERİM:					% 98.21

9) $Q = 2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{\text{opt.}} = 4.0 \text{ m} = 13.1 \text{ ft}$

$$n = 1 - \left[1 - 0.67(D)^{0.14} \right] (T/283)^{0.3}$$

$$n = 1 - (1 - 0.67(13.1)^{0.14}) (323/283)^{0.3} = 0.81$$

a) $Q=Q$ ($2551.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$) Durumunda;

$$U_g = 2551.3 / (0.2 \times 0.5 \times (13.1)^2) = 148.66 \text{ ft/sn}$$

$$\Delta P = 0.0033 \times 0.07 \times (148.66)^2 \times 6.4 = 32.6 \text{ " H}_2\text{O} > 10 \text{ " H}_2\text{O} \text{ (Uygun değil)}$$

Tablo Ek 1.22 $D_{\text{opt.}} = 4.0 \text{ m}$ ve $Q=Q/2$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/2 = 1275.5 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{\text{opt.}} = 4.0 \text{ m} = 13.1 \text{ ft}$, $\Delta P = 8.16 \text{ " H}_2\text{O}$, $U_g = 74.32 \text{ ft/sn}$ $n = 0.81$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.762	0.0762
25-34	29.5	0.2	0.1	0.90	0.090
34-40	37	0.5	0.3	0.927	0.2781
40-50	45	0.8	0.3	0.946	0.2838
50-60	55	1.4	0.6	0.961	0.5766
60-70	65	2.5	1.1	0.971	1.0681
70-84	77	3.5	1.0	0.980	0.980
84-100	92	7	3.5	0.986	3.451
100-125	112.5	9	2	0.992	1.984
125-150	137.5	14	5	0.995	4.975
150-200	175	25	11	0.997	10.967
200-250	225	35	10	0.9991	9.991
250-300	275	43	8	0.9996	7.9968
300-350	325	50	7	0.9998	6.9986
>350	350	100	50	0.9999	49.995
TOPLAM VERİM:					% 99.75

Tablo Ek 1.23 $D_{opt.} = 4.0$ m ve $Q=Q/3$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/3= 850.3 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 4.0 \text{ m} = 13.1 \text{ ft}$, $\Delta P=3.62 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=49.54 \text{ ft/sn}$ $n=0.81$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.722	0.0722
25-34	29.5	0.2	0.1	0.872	0.872
34-40	37	0.5	0.3	0.90	0.270
40-50	45	0.8	0.3	0.926	0.2778
50-60	55	1.4	0.6	0.945	0.567
60-70	65	2.5	1.1	0.958	1.0538
70-84	77	3.5	1.0	0.969	0.969
84-100	92	7	3.5	0.979	3.4265
100-125	112.5	9	2	0.986	1.972
125-150	137.5	14	5	0.991	4.955
150-200	175	25	11	0.995	10.945
200-250	225	35	10	0.998	9.98
250-300	275	43	8	0.9991	7.9928
300-350	325	50	7	0.9995	6.9965
>350	350	100	50	0.9997	49.985
TOPLAM VERİM:					% 99.53

Tablo Ek 1.24 $D_{opt.} = 4.0$ m ve $Q=Q/4$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/4= 637.75 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 4.0 \text{ m} = 13.1 \text{ ft}$, $\Delta P=2.04 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=37.16 \text{ ft/sn}$ $n=0.81$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.694	0.0694
25-34	29.5	0.2	0.1	0.851	0.0851
34-40	37	0.5	0.3	0.884	0.2652
40-50	45	0.8	0.3	0.909	0.2727
50-60	55	1.4	0.6	0.931	0.5586
60-70	65	2.5	1.1	0.947	1.0417
70-84	77	3.5	1.0	0.960	0.960
84-100	92	7	3.5	0.971	3.3985
100-125	112.5	9	2	0.981	1.962
125-150	137.5	14	5	0.988	4.940
150-200	175	25	11	0.993	10.923
200-250	225	35	10	0.997	9.97
250-300	275	43	8	0.998	7.984
300-350	325	50	7	0.9992	6.9944
>350	350	100	50	0.9994	49.97
TOPLAM VERİM:					% 99.42

Tablo Ek 1.25 $D_{opt.} = 4.0$ m ve $Q=Q/6$ Durumu için verim hesabı

$Q=Q/6= 425 \text{ ft}^3/\text{sn}$, $D_{opt.} = 4.0 \text{ m} = 13.1 \text{ ft}$, $\Delta P=0.90 \text{ '' H}_2\text{O}$, $U_g=24.76 \text{ ft/sn}$ $n=0.81$					
d_p Aralığı(μm)	Ort. d_p	G_i (%)	g_i (%)	η_i	$\eta_i \times g_i$
0-25	12.5	0.1	0.1	0.653	0.0653
25-34	29.5	0.2	0.1	0.817	0.0817
34-40	37	0.5	0.3	0.854	0.2562
40-50	45	0.8	0.3	0.883	0.2649
50-60	55	1.4	0.6	0.909	0.5454
60-70	65	2.5	1.1	0.928	1.0208
70-84	77	3.5	1.0	0.944	0.944
84-100	92	7	3.5	0.958	3.353
100-125	112.5	9	2	0.971	1.942
125-150	137.5	14	5	0.981	4.905
150-200	175	25	11	0.989	10.879
200-250	225	35	10	0.994	9.94
250-300	275	43	8	0.997	7.976
300-350	325	50	7	0.998	6.986
>350	350	100	50	0.999	49.95
TOPLAM VERİM:					% 98.10

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 01.04.1980

Doğum Yeri YOZGAT

Lise 1994-1998 Özel Coşkun Kız Lisesi

Lisans 1999-2003 Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2004-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans 2004-2006 İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı kurumlar

2006- Alper Fındık ve Gıda San. Tic. Ltd. Şti.